



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΩΝ, ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΩΝ  
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ  
ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΣΤΑΛΛΑΓΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ  
ΑΠΟ ΧΩΡΟ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΓΚΟΥΣΚΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:  
ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ Α. (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)  
ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ Ε.  
ΤΣΟΥΤΣΟΣ Θ.

**ΧΑΝΙΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2006**



---

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Οικονομόπουλο Αλέξανδρο για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε τα δυο τελευταία χρόνια τόσο κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για την απόκτηση του μεταπτυχιακού, όσο και κατά τη διάρκεια της διπλωματικής σε προπτυχιακό επίπεδο. Η βοήθειά του ήταν σημαντική και οι προτεινόμενες κατευθύνσεις για την εξέλιξη της παρούσας εργασίας ιδιαίτερα χρήσιμες.

Θα ήθελα παράλληλα, να ευχαριστήσω τους κ. Γιδαράκο Ευάγγελο και Τσούτσο Θεοχάρη για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και το χρόνο που διέθεσαν για την αξιολόγηση της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....	σελ.1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	σελ.2
ABSTRACT.....	σελ.3

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

1. 1 ΓΕΝΙΚΑ.....	σελ.4
1.2 ΔΙΑΛΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ.....	σελ.5
1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ.....	σελ.6
1.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	σελ.8
1.4.1 Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία.....	σελ.8
1.4.2 Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία.....	σελ.8
1.4.3.Βιολογική Ξήρανση.....	σελ.9
1.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	σελ.10
1.5.1 Καύση.....	σελ.10
1.5.2 Αεριοποίηση.....	σελ.11
1.5.3 Πυρόλυση.....	σελ.11
1.6 ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	σελ.12
1.7 ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ.....	σελ.13

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

2.1 ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	σελ.14
2.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	σελ.17
2.2.1 Υγρασία-Υδατοχωρητικότητα.....	σελ.17
2.2.2 Βιοαποδομησιμότητα οργανικού τμήματος των ΑΣΑ.....	σελ.21
2.2.3 Ειδικό Βάρος Α.Σ.Α.....	σελ.21
2.2.4 Θερμογόνος Δύναμη.....	σελ.24
2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	σελ.35
2.3.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ.....	σελ.35
2.3.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ.....	σελ.38

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.43
3.2 ΦΑΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	σελ.45

3.2.1 Φάσεις αερόβιας αποδόμησης.....	σελ.45
3.2.2 Φάσεις αναερόβιας αποδόμησης.....	σελ.46
3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	σελ.49
3.3.1 LandGEM.....	σελ.49
3.3.2 Μοντέλο Tabasaran.....	σελ.49
3.3.3 Μεθοδολογία IPCC.....	σελ.50
3.3.4 Τριγωνικό μοντέλο.....	σελ.54
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	σελ.56
3.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ.....	σελ.56
3.4.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ.....	σελ.71

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ**

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.77
4.2 ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ.....	σελ.82
4.3 ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	σελ.83
4.3.1 Penman – Monteith.....	σελ.83
4.3.2 Thornthwaite.....	σελ.86
4.3.3 Blaney Criddle.....	σελ.87
4.4 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	σελ.87
4.5 ΕΞΑΤΜΙΣΗ.....	σελ.88
4.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ.....	σελ.89
4.6.1 Rational method.....	σελ.89
4.6.2 Μέθοδος SCS-CN.....	σελ.90
4.7 ΔΙΗΘΗΣΗ.....	σελ.93
4.8 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ– ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΧΥΤΑ.....	σελ.97
4.8.1 Μεταβολή υγρασίας στα υπερκείμενα εδάφη.....	σελ.97
4.8.2 Μέθοδος Υδατικού ισοζυγίου.....	σελ.103
4.8.2.1 Προχωρημένο σύνολο υπολογισμών.....	σελ.104
4.8.2 CWB.....	σελ.107
4.8.3 Κατανομή υγρασίας.....	σελ.108
4.8.4 Μοντέλο HELP.....	σελ.109
4.8.5 Μέθοδος Tcobanoglous.....	σελ.111
4.9 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	σελ.115
4.9.1 Εκτίμηση Εξατμισοδιαπνοής.....	σελ.115
4.9.2 Εκτίμηση διήθησης.....	σελ.120
4.9.3 Υπολογισμός παραγωγής διασταλλαγμάτων – Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ.....	σελ.123
4.9.4 Υπολογισμός παραγωγής διασταλλαγμάτων – Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ.....	σελ.133

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΚΑΘΙΖΗΣΗ**

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.137
5.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	σελ.138
5.2.1 Εμπειρικό μοντέλο.....	σελ.138
5.2.2 Μοντέλο Meissner.....	σελ.141
5.2.3 Μοντέλο Tcobanoglous.....	σελ.141
5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	σελ.143
5.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ.....	σελ.143
5.4.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ.....	σελ.147

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ**

6.1 ΜΟΝΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ.....	σελ.147
6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ.....	σελ.150
6.3 ΦΡΑΞΙΜΟ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.....	σελ.156
6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	σελ.156
6.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ.....	σελ.156

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

7.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ.....	σελ.163
7.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΧΥΤΑ.....	σελ.165
7.2.1. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαερίου.....	σελ.166
7.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ.....	σελ.167
7.3.1 Refuse Derived Fuel (RDF) .....	σελ.167
7.3.2 Πυρόλυση.....	σελ.168
7.3.3 Αεριοποίηση.....	σελ.170
7.3.4 Αεριοποίηση με τη μέθοδο πλάσματος.....	σελ.170
7.4 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ.....	σελ.172
7.5 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	σελ.176
7.5.1 Ενέργεια βιοαερίου από ΧΥΤΥ.....	σελ.176
7.5.2 Ενέργεια από καύση.....	σελ.180
7.5.3 Ενέργεια βιοαερίου από αναερόβια χώνευση.....	σελ.182

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΕΜΑΚ& ΧΥΤΥ ΧΑΝΙΩΝ**

8.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	σελ.183
---------------------------	---------

8.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	σελ.185
8. 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΣΕ ΧΥΤΥ ΧΑΝΙΩΝ.....	σελ.194
8.3.1 Ιδιότητες ΑΣΑ σε ΧΥΤΥ.....	σελ.195

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9**

<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>σελ.209</b>
--------------------------	----------------

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>σελ.213</b>
--------------------------	----------------

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....</b>	<b>σελ.i</b>
-------------------------	--------------

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....</b>	<b>σελ.xxix</b>
--------------------------	-----------------

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής ΚΔΑΥ.....σελ.7
Εικόνα 1.2: Διάγραμμα ροής βιο-ξήρανσης.....σελ.9
Εικόνα 1.3: Τυπική δομή μονάδας καύσης ΑΣΑ.....σελ.10
Εικόνα 1.4: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής αεριοποίησης.....σελ.11
Εικόνα 1.5: Σταθμός Μεταφόρτωσης ΑΣΑ.....σελ.12
Εικόνα 1.6: Τομή ΧΥΤΑ.....σελ.13

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Εικόνα 2.1 Παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων για τα έτη 1990 –2001.....σελ.15
Εικόνα 2.2 Ποιοτική σύσταση οικιακών απορριμμάτων.....σελ.15
Εικόνα 2.3: Θερμογόνος Δύναμη ανά υλικό συναρτήσει υγρασίας.....σελ.24
Εικόνα 2.4: Ανώτερες τιμές Θ.Δ. των υλικών των ΑΣΑ ανά μέθοδο.....σελ.33
Εικόνα 2.5: Κατώτερες τιμές Θ.Δ. των υλικών των ΑΣΑ ανά μέθοδο.....σελ.34
Εικόνα 2.6: Υποθετικό διάγραμμα ροής διαχείρισης ΑΣΑ.....σελ.35
Εικόνα 2.7: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΑ.....σελ.35
Εικόνα 2.8: Δομή προγράμματος υπολογισμού βασικών ιδιοτήτων ΑΣΑ.....σελ.36
Εικόνα 2.9: Διάγραμμα ροής βάση των ποσοστών επί της συνολικής ποσότητας απορριμμάτων.....σελ.38
Εικόνα 2.10: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΥ.....σελ.39
Εικόνα 2.11: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικού βάρους ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ-ΧΥΤΥ.....σελ.40
Εικόνα 2.12: Συγκριτικό διάγραμμα υγρασίας, ΟΚΑΣΑ, ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ.....σελ.41
Εικόνα 2.13: Συγκριτικό διάγραμμα ΑΘΔ των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ-ΧΥΤΥ.....σελ.41
Εικόνα 2.14: Συγκριτικό διάγραμμα ΚΘΔ των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ-ΧΥΤΥ.....σελ.42

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Εικόνα 3.1: Φάσεις αποδόμησης απορριμμάτων.....σελ.45
Εικόνα 3.2: Παραγωγή CH <sub>4</sub> και CO <sub>2</sub> από αναερόβια ζύμωση ΟΚΑΣΑ.....σελ.47
Εικόνα 3.3: Παραγωγή βιοαερίου για περίοδο 5 ετών, από ΓΑΣΑ και ΑΑΣΑ σε ΧΥΤΑ.....σελ.55
Εικόνα 3.4: Επίδραση μειωμένης υγρασίας στην παραγωγή βιοαερίου.....σελ.55
Εικόνα 3.5: Δομή προγράμματος μέγιστης εκτίμησης CO <sub>2</sub> και CH <sub>4</sub> .....σελ.57
Εικόνα 3.6: Σύγκριση όγκου CH <sub>4</sub> και CO <sub>2</sub> σε ΧΥΤΑ – ΧΥΤΥ.....σελ.60



Εικόνα 3.7: Εξέλιξη παραγωγής ΑΣΑ / kg/κατ.....	σελ.61
Εικόνα 3.8: Εξέλιξη παραγωγής ποσοστού ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ και ΚΔΑΥ.....	σελ.62
Εικόνα 3.9: Δομή προγράμματος εκτίμησης βάρους και όγκου των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ.....	σελ.62
Εικόνα 3.10: Αθροιστικός όγκος των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ.....	σελ.64
Εικόνα 3.11: Τριγωνικό μοντέλο εκτίμησης αποδόμησης ΓΑΣΑ.....	σελ.64
Εικόνα 3.12: Τριγωνικό μοντέλο εκτίμησης αποδόμησης ΑΑΣΑ.....	σελ.65
Εικόνα 3.13: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση του συνολικού ρυθμού παραγωγής βιοαερίου από ΑΑΣΑ και ΓΑΣΑ.....	σελ.67
Εικόνα 3.14: Παραγωγή βιοαερίου από από 1kg ΓΑΣΑ.....	σελ.68
Εικόνα 3.15: Παραγωγή βιοαερίου από από 1kg ΑΑΣΑ.....	σελ.69
Εικόνα 3.16: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ.....	σελ.70
Εικόνα 3.17: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ.....	σελ.70
Εικόνα 3.18: Παραγωγή βιοαερίου από από 1kg ΓΑΣΑ (ΧΥΤΥ).....	σελ.71
Εικόνα 3.19: Παραγωγή βιοαερίου από από 1kg ΑΑΣΑ (ΧΥΤΥ).....	σελ.72
Εικόνα 3.20: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ σε ΧΥΤΥ.....	σελ.72
Εικόνα 3.21: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ σε ΧΥΤΥ.....	σελ.72
Εικόνα 3.22: Παραγωγή CH <sub>4</sub> για k=0,05/yr (ΧΥΤΑ).....	σελ.74
Εικόνα 3.23: Παραγωγή CH <sub>4</sub> για k=0,03/yr (ΧΥΤΑ).....	σελ.74
Εικόνα 3.24: Παραγωγή CH <sub>4</sub> για k=0,05/yr (ΧΥΤΥ).....	σελ.75
Εικόνα 3.25: Παραγωγή CH <sub>4</sub> για k=0,03/yr (ΧΥΤΥ).....	σελ.76

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Εικόνα 4.1 Κίνηση – δημιουργία στραγγισμάτων.....	σελ.78
Εικόνα 4.2: Διαχρονική εξέλιξη συγκεντρώσεων παραμέτρων ΧΥΤΑ.....	σελ.79
Εικόνα 4.3: Διάκριση εισερχόμενης βροχόπτωσης σε παρεμπόδιση, κατακράτηση, διήθηση και επιφανειακή απορροή.....	σελ.83
Εικόνα 4.4: Σχέση μεταξύ Απορροής, Βροχόπτωσης και Συγκράτησης. ....	σελ.91
Εικόνα 4.5: SCS Σχέση βροχόπτωσης απορροής ‘ομαλοποιημένες’ βάσει της παραμέτρου S.....	σελ.92
Εικόνα 4.6: Καμπύλες απορροής.....	σελ.93
Εικόνα 4.7: Υδατικό ισοζύγιο σε ΧΥΤΑ.....	σελ.104
Εικόνα 4.8: Κλιματικό ισοζύγιο ύδατος.....	σελ.107
Εικόνα 4.9: Διάταξη στρωμάτων που θεωρεί το μοντέλο HELP. ....	σελ.110
Εικόνα 4.10: Όγκος ελέγχου υδατικού ισοζυγίου.....	σελ.112
Εικόνα 4.11: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση της PET κατά Penman-Μ.....	σελ.115
Εικόνα 4.12: PET σε ένα έτος κατά Penman –Monteith.....	σελ.118

Εικόνα 4.13: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση της PET (Thornwaite) ...σελ.118	σελ.118
Εικόνα 4.14: PET σε ένα έτος κατά Thornwaite.....σελ.119	σελ.119
Εικόνα 4.15: PET σε ένα έτος κατά Blaney-Criddle.....σελ.119	σελ.119
Εικόνα 4.16: Συγκριτικό γράφημα μεθόδων εκτίμησης PET.....σελ.120	σελ.120
Εικόνα 4.17: Εκτίμηση διήθησης συναρτήσε του χρόνου κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.....σελ.121	σελ.121
Εικόνα 4.18: Εκτίμηση διήθησης συναρτήσε του χρόνου μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.....σελ.123	σελ.123
Εικόνα 4.19: Ταμπάνια κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.....σελ.125	σελ.125
Εικόνα 4.20: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση των παραγόμενων διασταλλαγμάτων από το χώρο απόθεσης.....σελ.128	σελ.128
Εικόνα 4.21: Συντελεστής υδατοχωρητικότητας συναρτήσε χρόνου (ΧΥΤΑ).σελ.129	σελ.129
Εικόνα 4.22: Συσχέτιση βάρους νερού, υδατοχωρητικότητας, παραγόμενων στραγγισμάτων (ΧΥΤΑ) .....σελ.130	σελ.130
Εικόνα 4.23:Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων στο ΧΥΤΑ.....σελ.130	σελ.130
Εικόνα 4.24: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων και μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ	
Εικόνα 4.25: Συντελεστής υδατοχωρητικότητας συναρτήσε χρόνου (ΧΥΤΥ).σελ.134	σελ.134
Εικόνα 4.26: Συσχέτιση βάρους νερού, υδατοχωρητικότητας, παραγόμενων στραγγισμάτων (ΧΥΤΥ) .....σελ.134	σελ.134
Εικόνα 4.27:Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων στο ΧΥΤΥ.....σελ.135	σελ.135
Εικόνα 4.28: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων και μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ	
Εικόνα 4.29: Ανάλυση ευαισθησίας.....σελ.136	σελ.136

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΚΑΘΙΖΗΣΗ**

Εικόνα 5.1: Εξέλιξη καθίζησης σε χώρο απόθεσης.....σελ.138	σελ.138
Εικόνα 5.2: Ειδικό βάρος ΑΣΑ που αποτίθενται σε ΧΥΤΑ συναρτήσε του αρχικού ειδικού βάρους τους και της πίεσης υπερφόρτωσης.....σελ.142	σελ.142
Εικόνα 5.3: Επιφανειακή καθίζηση ΧΥΤΑ.....σελ.142	σελ.142
Εικόνα 5.4: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση καθίζησης.....σελ.144	σελ.144
Εικόνα 5.5: Εξέλιξη ειδικού βάρους ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ.....σελ.146	σελ.146
Εικόνα 5.6: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο ΧΥΤΑ.....σελ.146	σελ.146
Εικόνα 5.7: Εξέλιξη ειδικού βάρους ΑΣΑ στο ΧΥΤΥ.....σελ.147	σελ.147
Εικόνα 5.8: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο ΧΥΤΥ.....σελ.147	σελ.147

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ**

Εικόνα 6.1: Ορθός σχεδιασμός ΧΥΤΑ.....σελ.148	σελ.148
---	---------

Εικόνα 6.2: Παράμετροι συστήματος συλλογής στραγγισμάτων.....σελ.150	σελ.150
Εικόνα 6.3: Σχηματισμοί αγωγών συλλογής διασταλλαγμάτων.....σελ.152	σελ.152
Εικόνα 6.4: Γεωμετρία ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωσησελ.153	σελ.153
Εικόνα 6.5: 1 <sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων.....σελ.154	σελ.154
Εικόνα 6.6: 2 <sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων.....σελ.155	σελ.155
Εικόνα 6.7: 3 <sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων.....σελ.155	σελ.155
Εικόνα 6.8. Συσσώρευση στραγγισμάτων.....σελ.156	σελ.156
Εικόνα 6.9: Δομή προγράμματος για τη διαστασιολόγηση των αγωγών.....σελ.157	σελ.157
Εικόνα 6.10: Μέγιστο ύψος στραγγισμάτων συναρτήσει $k_s$ .....σελ.160	σελ.160
Εικόνα 6.11: Μέγιστο ύψος στραγγισμάτων συναρτήσει $k_s$ .....σελ.160	σελ.160

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εικόνα 7.1: Διαγράμματα ροής για ανάκτηση ενέργειας.....σελ.164	σελ.164
Εικόνα 7.2: Πυρόλυση με την μέθοδο Kiener.....σελ.169	σελ.169
Εικόνα 7.3: Διεργασίες αεριοποίησης .....σελ.171	σελ.171
Εικόνα 7.4: Διάγραμμα ροής αναερόβιας διεργασίας .....σελ.173	σελ.173
Εικόνα 7.5: Ισοζύγιο μάζας .....σελ.174	σελ.174
Εικόνα 7.6: Ισοζύγιο ενέργειας.....σελ.175	σελ.175
Εικόνα 7.7: Συνολική παραγωγή βιοαερίου από ΧΥΤΥ.....σελ.178	σελ.178
Εικόνα 7.8: Συλλογή βιοαερίου από ΧΥΤΥ.....σελ.178	σελ.178
Εικόνα 7.9: Διάγραμμα ροής διαχείρισης ΑΣΑ (ΕΜΑΚ).....σελ.179	σελ.179

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΕΜΑΚ& ΧΥΤΥ Χανίων

Εικόνα 8.1: Η περιοχή η οποία εξυπηρετείται από ΕΜΑΚ&ΧΥΤΥ.....σελ.183	σελ.183
Εικόνα 8.2: Γενική διάταξη Εγκαταστάσεων.....σελ.184	σελ.184
Εικόνα 8.3: Κτίρια εργοστασίου.....σελ.184	σελ.184
Εικόνα 8.4: Κτίριο Υποδοχής.....σελ.185	σελ.185
Εικόνα 8.5: Δεξαμενές υποδοχής και αρπάγη.....σελ.185	σελ.185
Εικόνα 8.6: Ταινία ανάκτησης ανεπιθύμητων υλικών.....σελ.186	σελ.186
Εικόνα 8.7: Χώρος μηχανικής διαλογής.....σελ.186	σελ.186
Εικόνα 8.8: Χειροδιαλογή ΑΣΑ.....σελ.187	σελ.187
Εικόνα 8.9: Μαγνήτης.....σελ.188	σελ.188
Εικόνα 8.10: Έξοδος διαχωρισμένων υλικών.....σελ.188	σελ.188
Εικόνα 8.11: Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης.....σελ.189	σελ.189
Εικόνα 8.12: Αντιδραστήρας λιπασματοποίησης.....σελ.189	σελ.189
Εικόνα 8.13: Κτίρια ταχείας κομποστοποίησης.....σελ.190	σελ.190
Εικόνα 8.14: Χώρος ραφινάρισματος.....σελ.190	σελ.190

Εικόνα 8.15: Σειράδια κομπόστ.....σελ.191	σελ.191
Εικόνα 8.16: 1 <sup>η</sup> λεκάνη απόθεσης.....σελ.192	σελ.192
Εικόνα 8.17: 2 <sup>η</sup> λεκάνη απόθεσης.....σελ.193	σελ.193
Εικόνα 8.18: Σύστημα επεξεργασίας στραγγισμάτων.....σελ.193	σελ.193
Εικόνα 8.19: Κάτω δεξιά λεκάνη, χωρισμένη σε δυο κύτταρα.....σελ.197	σελ.197
Εικόνα 8.20: Παραγωγή βιοαερίου από 1kgf ΓΑΣΑ.....σελ.198	σελ.198
Εικόνα 8.21: Παραγωγή βιοαερίου από 1kgf ΑΑΣΑ.....σελ.198	σελ.198
Εικόνα 8.22: Συνολική παραγωγή βιοαερίου από 1kgf ΑΣΑ.....σελ.199	σελ.199
Εικόνα 8.23: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από την εναπόθεση 1kgf ΑΣΑ ανά έτος.....σελ.199	σελ.199
Εικόνα 8.24: Εκτίμηση PET κατά Thornwaite.....σελ.200	σελ.200
Εικόνα 8.25: Εκτίμηση διήθησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΥ....σελ.201	σελ.201
Εικόνα 8.26: Εκτίμηση διήθησης μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΥ.....σελ.202	σελ.202
Εικόνα 8.27: Ταμπάνια πρώτου κυττάρου.....σελ.203	σελ.203
Εικόνα 8.28: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων από 1 <sup>ο</sup> κύτταρο.....σελ.204	σελ.204
Εικόνα 8.29: Ταμπάνια δεύτερου κυττάρου.....σελ.204	σελ.204
Εικόνα 8.30: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων από το 2 <sup>ο</sup> κύτταρο.....σελ.205	σελ.205
Εικόνα 8.31: Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων από τα κύτταρα 1&2. ...σελ.205	σελ.205
Εικόνα 8.32: Εξέλιξη υδατικού ισοζυγίου (steady-state).....σελ.206	σελ.206
Εικόνα 8.33: Εξέλιξη υδατικού ισοζυγίου.....σελ.207	σελ.207
Εικόνα 8.34: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο κύτταρο 1.....σελ.207	σελ.207
Εικόνα 8.35: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο κύτταρο 2.....σελ.208	σελ.208

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Εικόνα ΙΙ.1: Σύνθεση % των ΑΣΑ στους 7 ΧΥΤΑ/Χ.Α δειγματοληψίας την περίοδο 15/9/2003-31/10/2003 (μέσες τιμές).....σελ.xxxix	σελ.xxxix
Εικόνα ΙΙ.2: Σύνθεση % των ΑΣΑ στους 7 ΧΥΤΑ/Χ.Α δειγματοληψίας την περίοδο 17/11/2003-23/1/2004 (μέσες τιμές) .....σελ.xxxix	σελ.xxxix

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Πίνακας 2.1: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ ανάλογα με τον πληθυσμό των ΟΤΑ.....σελ.15	σελ.15
Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας.....σελ.16	σελ.16
Πίνακας 2.3: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ στις Η.Π.Α.....σελ.16	σελ.16
Πίνακας 2.4: Διακύμανση & τυπική υγρασία διαφόρων τύπων ΑΣΑ.....σελ.17	σελ.17
Πίνακας 2.5: Υδατοχωρητικότητα των ΑΣΑ .....σελ.19	σελ.19
Πίνακας 2.6: Η βιοαποδομησιμότητα ορισμένων οργανικών ΑΣΑ.....σελ.21	σελ.21
Πίνακας 2.7: Διακύμανση & τυπικό βάρος διαφόρων τύπων ΑΣΑ.....σελ.22	σελ.22
Πίνακας 2.8: Ειδικό βάρος διαφόρων τύπων ΑΣΑ.....σελ.23	σελ.23
Πίνακας 2.9: Θερμογόνος δύναμη βασικών υλικών ΑΣΑ.....σελ.25	σελ.25
Πίνακας 2.10: Στοιχειακή ανάλυση υλικών ΑΣΑ.....σελ.25	σελ.25
Πίνακας 2.11: Δεδομένα σύνθεσης και εκτιμώμενη Θ.Δ. ΑΣΑ.....σελ.27	σελ.27
Πίνακας 2.12: Ανηγμένος τύπος επί ξηρής βάσης ΑΣΑ.....σελ.30	σελ.30
Πίνακας 2.13: Τυπικές τιμές ΑΘΔ για υπολογισμό EXP.....σελ.30	σελ.30
Πίνακας 2.14: Τυπικές τιμές $H_{awf}$ .....σελ.31	σελ.31
Πίνακας 2.15: ΑΘΔ ανάλογα με το υλικό και την μέθοδο εκτίμησης.....σελ.32	σελ.32
Πίνακας 2.16: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΥ.....σελ.39	σελ.39
Πίνακας 2.17: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων properties2.out.....σελ.39	σελ.39

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Πίνακας 3.1: Μέση % κ.ο. σύσταση βιοαερίου συναρτήσει του χρόνου.....σελ.45	σελ.45
Πίνακας 3.2: Τυπικοί δέκτες ηλεκτρονίων στις βιολογικές αντιδράσεις.....σελ.47	σελ.47
Πίνακας 3.3: Παράμετροι ανίχνευσης βαθμού σταθεροποίησης ΑΣΑ.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.4: Τιμές διαφόρων παραμέτρων σύμφωνα με IPCC.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.5: Τιμές της MCF, ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης των ΑΣΑ.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.6: Τιμές της παραμέτρου DOC σε σχέση με τα A, B, C, D.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.7: Γρήγορα και αργά βιοδιασπάσιμα οργανικά συστατικά των ΑΣΑ.σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.8: Στοιχειακή ανάλυση αποδομήσιμων υλικών.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.9: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων αρχείου methane.out.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.10: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων methane2.out (ΧΥΤΥ) .....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.11: Εκτίμηση ολικής παραγωγής βιοαερίου από 1kgf ΑΣΑ.....σελ.10	σελ.10
Πίνακας 3.12: Παραγωγή ΑΣΑ που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ.....σελ.10	σελ.10

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Πίνακας 4.1: Τιμές χαρακτηριστικών παραμέτρων των διασταλλαγμάτων.....σελ.	79
Πίνακας 4.2: Τιμές σύστασης των στραγγισμάτων στην Ελλάδα.....σελ.	81
Πίνακας 4.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας $S_0$ σε $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{d})$ για γεωγραφικά πλάτη $36^\circ - 46^\circ$ .....σελ.	85
Πίνακας 4.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της αστρονομικής διάρκειας ημέρας $N$ σε ώρες για γεωγραφικά πλάτη $36^\circ - 46^\circ$ .....σελ.	85
Πίνακας 4.5: Τιμές του συντελεστή απορροής.....σελ.	90
Πίνακας 4.6: Τυπικές τιμές συντελεστή διαπερατότητας για διάφορα εδάφη.....σελ.	94
Πίνακας 4.7: Τυπικές τιμές FC και PWP για διάφορους τύπους εδαφών.....σελ.	95
Πίνακας 4.8: Εκτίμηση διήθησης κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.....σελ.	120
Πίνακας 4.9: Εκτίμηση διήθησης μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ.....σελ.	122
Πίνακας 4.10: Παραγωγή βιοαερίου ανά $\text{kg}/\text{ΑΣΑ}$ στο ΧΥΤΑ.....σελ.	123
Πίνακας 4.11: Παραγωγή βιοαερίου ανά $\text{kg}/\text{ΑΣΑ}$ στο ΧΥΤΥ.....σελ.	133

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Πίνακας 5.1: Παράμετροι συμπίεσης ΑΣΑ.....σελ.	140
--	-----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ

Πίνακας 6.1: Σχέσεις χαρακτηριστικών ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση.....σελ.	153
Πίνακας 6.1: Συγκριτικός πίνακας μεταβολής του $H_{\max}$ συναρτήσει της απόστασης των αγωγών, της υδραυλικής αγωγιμότητας και της κλίσης.....σελ.	161

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πίνακας 7.1: Τυπικές τιμές απόδοσης συστημάτων θερμικής επεξεργασίας....σελ.	164
Πίνακας 7.2: Ενέργεια που αποδίδει κάθε τύπος καυσίμου.....σελ.	166
Πίνακας 7.3: Παραγωγή βιοαερίου ανά τεχνολογία Α.Χ. ....σελ.	175
Πίνακας 7.4: Ισοδύναμα καύσιμα που προκύπτουν από ένα $\text{tn}$ ΑΣΑ.....σελ.	176
Πίνακας 7.5: Ηλεκτρική ενέργεια από ΧΥΤΥ.....σελ.	179

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΕΜΑΚ& ΧΥΤΥ ΧΑΝΙΩΝ

Πίνακας 8.1: Σύνθεση ΑΣΑ που φτάνουν στην εγκατάσταση.....σελ.	194
--	-----

Πίνακας 8.2: Διαθέσιμες προς πάληση ποσότητες υλικών.....σελ.194	σελ.194
Πίνακας 8.3: Σύνθεση ΑΣΑ που φτάνουν στο ΧΥΤΥ.....σελ.194	σελ.194
Πίνακας 8.4: Ιδιότητες των ΑΣΑ που καταλήγουν στο ΧΥΤΥ.....σελ.195	σελ.195
Πίνακας 8.5: Εκτίμηση χημικής σύστασης και ποσότητας του βιοαερίου.....σελ.196	σελ.196
Πίνακας 8.6: Μέση θερμοκρασία και ύψος βροχόπτωσης.....σελ.199	σελ.199
Πίνακας 8.7: Εκτίμηση διήθησης.....σελ.201	σελ.201

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας ΙΙ.1: Μέγιστη ικανότητα συγκράτησης (σε mm) για διαφόρους τύπους βλάστησης συναρτήσει του τύπου του εδάφους.....σελ.xl	σελ.xl
Πίνακας ΙΙ.2: Μέγιστη πιθανή ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη(cal/cm <sup>2</sup> day) .....σελ.xl	σελ.xl
Πίνακας ΙΙ.3: Μηνιαίες τιμές περιεχόμενης θερμότητας, που αντιστοιχεί σε μέσες μηνιαίες τιμές.....σελ.xli	σελ.xli
Πίνακας ΙΙ.4: Ενδεικτικός πίνακας UPET για διαφορες τιμές θερμοκρασίας και τιμές I [ 32-39,5°F , και τιμές I από 25-80] .....σελ.xliii	σελ.xliii
Πίνακας ΙΙ.5: Μέση πιθανή διάρκεια ηλιακής ακτινοβολίας στο β. ημισφαίριο... .....σελ.xliv	σελ.xliv
Πίνακας ΙΙ.6: Προσωρινή ικανότητα συγκράτησης του νερού για διάφορους τύπους εδάφους και βλάστησης.....σελ.xlvi	σελ.xlvi
Πίνακας ΙΙ.7: Ενδεικτικός πίνακας συγκράτησης υγρασίας για διάφορα ποσά PET για συγκράτηση υγρασίας από τις ρίζες 4in .....σελ.xlvii	σελ.xlvii

## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ΑΑΣΑ: Αργά Αποδομήσιμα Στερεά Απορρίμματα

ΑΘΔ: Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απορρίμματα

ΓΑΣΑ: Γρήγορα Αποδομήσιμα Στερεά Απορρίμματα

ΔΕΔΙΣΑ: Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΕΜΑΚ: Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης

ΘΔ: Θερμογόνος Δύναμη

ΚΔΑΥ: Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

ΚΘΔ: Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη

ΜΠΕ: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

ΟΚΑΣΑ: Οργανικό Κλάσμα Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

ΟΤΑ: Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΣΜΑ: Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων

ΧΔΑ: Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων

ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΧΥΤΥ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

EPA: Environmental Protection Agency

RDF: Refuse Derived Fuel

SBR: Sequencing Batch Reactor

NMOCs: Non Methane Organic Compounds

WBM: Water Balance Method



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των ΑΣΑ αποτελεί μια πολυσύνθετη και πολύπλοκη διαδικασία καθώς οι παράμετροι που εμπλέκονται είναι αρκετές. Μια από τις βασικότερες αποτελεί η σύσταση των ΑΣΑ.

Οι διαφοροποιήσεις στη σύνθεση είναι αρκετά σημαντικές όχι μόνο από χώρα σε χώρα αλλά ακόμα και από περιοχή σε περιοχή. Η άκριτη υιοθέτηση τιμών για ιδιότητες όπως η αποδομησιμότητα, η υγρασία, η θερμογόνος δύναμη κτλ. που σχετίζονται άμεσα με τη σύσταση των ΑΣΑ, από τη διεθνή βιβλιογραφία, είναι πιθανόν να οδηγήσει στην επιλογή λανθασμένων πολιτικών διαχείρισης.

Αρχικά λοιπόν, εξετάζονται επιλεγμένες ιδιότητες βάσει της σύστασης των ελληνικών ΑΣΑ με στοιχεία από προηγούμενες μελέτες. Προκειμένου να γίνονται πιο κατανοητές οι μεθοδολογίες που αναλύονται αλλά και η διακύμανση των τιμών κάποιων ιδιοτήτων, στο τέλος κάθε κεφαλαίου έχουν αναπτυχθεί δυο υποθετικά σενάρια. Στο 1<sup>ο</sup>, υποθετική περιοχή εξυπηρετείται από ένα ΧΥΤΑ όποτε εξετάζονται τα ΑΣΑ που καταλήγουν σε αυτόν, ενώ στη δεύτερη περίπτωση εξετάζεται το ενδεχόμενο λειτουργίας ενός ΚΔΑΥ οπότε το τμήμα των ΑΣΑ που οδηγείται στο χώρο απόθεσης (ΧΥΤΥ) διαφοροποιείται τόσο ως προς το ποσό όσο και ως προς τη σύστασή του.

Το βιοαερίο που παράγεται από τα ΑΣΑ εξετάζεται στην επόμενη ενότητα. Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση του παραγόμενου από τα ΑΣΑ αερίου, είναι αρκετές και τροποποιούνται συνεχώς. Οι υποθέσεις της κάθε μεθοδολογίας διαφοροποιούνται σημαντικά με συνέπεια και τα αποτελέσματα που δίνουν να αποκλίνουν σε μεγάλο βαθμό.

Τα διασταλλάγματα, που προκύπτουν από τα ΑΣΑ σε ένα χώρο απόθεσης, είναι δυνατόν, να προκαλέσουν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα εξαιτίας του σημαντικού ρυπαντικού φορτίου που φέρουν, στην περίπτωση που η μόνωση του χώρου δεν είναι η ενδεδειγμένη. Το υδατικό ισοζύγιο σε ένα ΧΥΤΑ αποτελεί ένα από τα βασικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του έργου. Η γνώση του όγκου των παραγόμενων στραγγισμάτων βοηθά στην ορθή διαστασιολόγηση της μονάδας διαχείρισής τους και στην εκτίμηση του κόστους καθαρισμού τους.

Μελετάται επιπλέον, η καθίζηση των ΑΣΑ σε ένα ΧΥΤΑ καθώς αποτελεί σημαντική σχεδιαστική παράμετρο για τον κύκλο ζωής του που συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη. Τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος και στην Ελλάδα για ανάκτηση ενέργειας από τα ΑΣΑ. Παρουσιάζονται λοιπόν, κάποιες από τις μεθόδους ανάκτησης και γίνεται υπολογισμός της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τα ελληνικά ΑΣΑ.

Τέλος, η εργασία εστιάζεται και στο ΧΥΤΑ και ΕΜΑΚ Χανίων από τη σκοπιά της σύστασης των ΑΣΑ, της παραγωγής βιοαερίου και της παραγωγής στραγγισμάτων.

## ABSTRACT

Managing municipal solid waste (MSW) is a complicated procedure as the parameters involved are many. One of the most essential parameters is the composition of MSW. The differences in composition of MSW are important not only from country to country but even among different areas of the same country. The inconsiderate adoption of values of certain MSW's properties, such as the humidity and the heating value etc., that are directly related to their composition, from the international literature, may lead to incorrect directions and decisions.

In the first part of this thesis, specific properties (moisture, biodegradability, heating value etc) of wastes are examined based on the composition of MSW produced in Greece, and data from previous studies. In order the methodologies to be more comprehensible, at the end of each chapter, two hypothetical scenarios have been developed. In the first scenario the solid wastes of the region are lead to a landfill with no previous treatment. In the second scenario there is a recovery of certain materials (paper, plastics and metals) so the composition of wastes that finally end up in the landfill is different.

Biogas produced from MSW is examined in a different chapter. The methodologies that have been developed for the evaluation of the produced gas are many. However the assumptions of each one are different and as a consequence the results vary.

The leachates of a landfill can cause serious damage to the environment because of the pollutants they contain, if the landfill's liner is not properly constructed. The water balance of a landfill is one of the most basic design characteristics of a landfill. The valuation of the wastewaters produced can help in the correct design of the treatment facility.

The settlement of MSW is also examined as a function of MSW's specific weight, and time. This parameter is essential for the estimation of landfills' available volume. There is also an estimation of the energy that can be recovered from MSW based on technologies that have been lately developed.

Finally, there is an application of the previous methodologies in the landfill of Chania.

# Κεφάλαιο 1

## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

### 1. 1 ΓΕΝΙΚΑ

Από τις σημαντικότερες παραμέτρους προκειμένου να επιτυγχάνεται ορθολογικός σχεδιασμός και αποτελεσματική εφαρμογή των εκάστοτε συστημάτων διαχείρισης των ΑΣΑ θεωρείται η γνώση της ποσότητας, της σύνθεσης και της χωροταξικής κατανομής της παραγωγής αυτών. Ωστόσο, πλήθος άλλων παραμέτρων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, παράλληλα όπως η γνώση των εφαρμόσιμων τεχνικών και οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι, τόσο για τη δημιουργία, όσο και για τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης. [1]

Η διαχείριση των ΑΣΑ συνεπάγεται μετασχηματισμούς των χαρακτηριστικών τους, πριν και μετά την προσωρινή εναπόθεσή τους σε σακούλες ή σε κοινόχρηστους κάδους για αποκομιδή. Κάθε σύστημα διαχείρισης ΑΣΑ είναι ένας συνδυασμός επεξεργασιών και αποσκοπεί στην εκμετάλλευση της χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος να απορροφήσει απόβλητα χωρίς υπέρβαση των κοινωνικά αποδεκτών ορίων για την ποιότητά του. [1]

Οι βασικότερες μέθοδοι επεξεργασίες είναι:

- η διαλογή στην πηγή: επιτυγχάνει μείωση της ποσότητας που οδηγείται προς τελική διάθεση, με παράλληλη αξιοποίηση των ανακυκλώσιμων

υλικών. Αποτελεί εναλλακτικό και συμπληρωματικό στάδιο της συνολικής διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων

- η ανακύκλωση: από το μίγμα των ΑΣΑ είναι δυνατόν να ανακτηθούν ανακυκλώσιμα υλικά μέσα από διεργασίες διαχωρισμού και ταξινόμησης. Τα υλικά που ανακτώνται ονομάζονται δευτερογενείς πρώτες ύλες. Η παραγωγική αυτή διαδικασία αποτελείται από διαφορετικά στάδια τα οποία και αλληλοσυμπληρώνονται ώστε να αποτελέσουν τη βάση για την τροποποίηση των υπάρχοντων υλικών και την ανάκτηση νέων υλικών από αυτά

- η βιολογική επεξεργασία: η λιπασματοποίηση είναι μια μέθοδος διαχείρισης όπου το οργανικό κλάσμα αποδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες συνθήκες με αποτέλεσμα τη σταδιακή μετατροπή του σε ένα υλικό βιολογικά σταθερό (compost), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό του εδάφους. Σύγχρονες μέθοδοι οδηγούν και στην συλλογή του βιοαερίου μέσα από την ελεγχόμενη αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ.

- η θερμική επεξεργασία : σκοπός είναι η μείωση του όγκου των ΑΣΑ, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για τη υγεία του ανθρώπου και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ενέργειας τους ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα, ή καύσιμο υλικό.

- η εδαφική διάθεση. [2]

Στην Ελλάδα περισσότερο από το 90% των συλλεγόμενων ΑΣΑ οδηγείται προς εδαφική διάθεση. Ωστόσο, είναι πολύ υψηλό το ποσοστό που οδηγείται σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης. Συγκεκριμένα σε επίπεδο χώρας το 1997 είχαν καταγραφεί 3430 χώροι ανεξέλεγκτης απόρριψης οι οποίοι δέχονταν το 35% των οικιακών απορριμμάτων, και σε πολλές περιπτώσεις βρίσκονταν σε ακατάλληλες περιοχές (κοντά σε ακτές ή ρέματα). Επιπλέον, υπήρχαν 1420 εγκεκριμένοι χώροι που δέχονταν το 65% περίπου της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων απορριμμάτων. [3]

Οι προαναφερθείσες μέθοδοι επεξεργασίες παρουσιάζονται εκτενέστερα στη συνέχεια.

## 1.2 ΔΙΑΛΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ

Τα προγράμματα αυτά έχουν ως στόχο την μείωση στην ποσότητα και της τοξικότητας των υλικών, που εισέρχονται στο ρεύμα των οικιακών απορριμμάτων, καθώς και η αξιοποίηση ενός ποσοστού απ' αυτά. Ένα οργανωμένο πρόγραμμα αυξάνει το ποσοστό των υλικών που μπορούν να οδηγηθούν προς ανακύκλωση και ταυτόχρονα μειώνει το ποσοστό αυτών που τελικά θα διατεθούν σε ΧΥΤΑ [1].

Η εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος διαλογής στην πηγή εξαρτάται από το είδος, την ποσότητα και την ποιότητα των προς διαλογή υλικών, την ανάπτυξη αγορών για την απορρόφησή τους και την ευκολία υλοποίησής τους.

Προϋπόθεση για την επιτυχία ενός προγράμματος μείωσης στην πηγή είναι η υιοθέτηση μακροπρόθεσμου σχεδιασμού ευαισθητοποίησης των πολιτών με στόχο τη διαμόρφωση μόνιμης και συνειδητής αγωγής.

### 1.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Η ανακύκλωση των απορριμμάτων κατέχει σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος. Συνιστά ένα από τα κύρια σημεία στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης στα οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία προκειμένου να διασφαλιστεί η μετάδοση της φυσικής κληρονομιάς στην επόμενη γενιά.

Μερικοί από τους λόγους για τους οποίους θα πρέπει να γίνεται ανακύκλωση των αστικών απορριμμάτων είναι:

- η μείωση της ποσότητάς τους. Αυτό αποτελεί πρωταρχικό στόχο κάθε περιβαλλοντικά φιλικής διαχείρισης. Στην πράξη συνεπάγεται περισσότερα χρήσιμα υλικά και αποταμίευση φυσικών πόρων.
- η εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ορθή χρήση αυτών. Μέσω της ανακύκλωσης επιμηκύνεται η επάρκεια των υλικών για τις επόμενες γενιές.
- η εξοικονόμηση ενέργειας. Αποτελεί ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης, καθώς η επαναχρησιμοποίηση προσδίδει υλικά, τα οποία έχουν ήδη προκύψει από ενεργοβόρες επεξεργασίες, όπως η ξύλινη πολτοποίηση και ο καθαρισμός των μεταλλευμάτων από τις διάφορες προσμίξεις, ο οποίος λαμβάνει χώρα στην πρωτογενή παραγωγική διαδικασία.
- η μείωση των απαιτούμενων χώρων για υγειονομική ταφή και επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σημαντικό σημείο καθώς οι ΧΥΤΑ καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις γης και το ζήτημα της ανεύρεσης νέων χώρων αναδεικνύεται σε πρόβλημα με αυξανόμενες διαστάσεις.
- η μείωση της ατμοσφαιρικής και υδατικής ρύπανσης. Η ανακύκλωση μειώνει την ρύπανση, εν μέρει με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και εν μέρει με την αποφυγή της επεξεργασίας υλών.
- η μείωση της τιμής των μετάλλων και γενικά των πρώτων υλών. Το κόστος εξαγωγής και επεξεργασίας των μετάλλων μειώνεται μέσω της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των υλικών που βρίσκονται στα απορρίμματα, μειώνεται ταυτόχρονα και η τιμή τους. [1]

Κάποια προγράμματα ανακύκλωσης προϋποθέτουν περίπλοκες τεχνολογίες διαχωρισμού σε Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ).

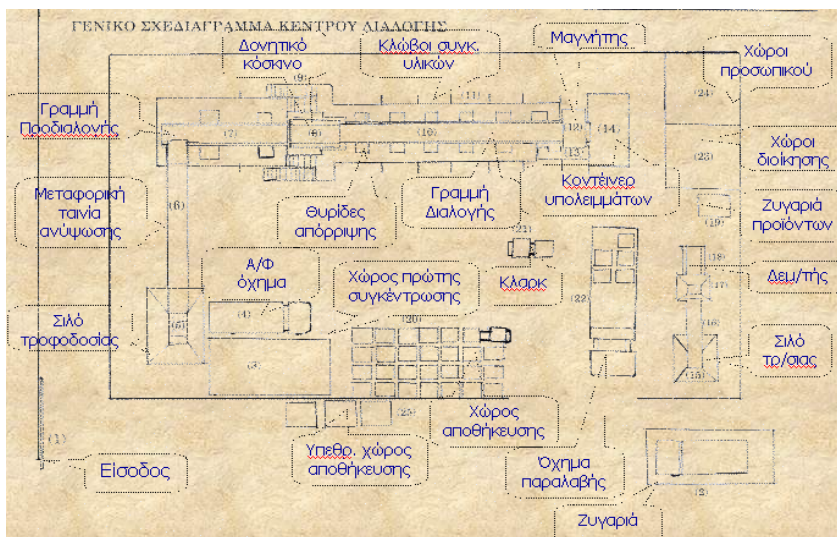
Τα ΚΔΑΥ είναι εγκαταστάσεις όπου, με συνδυασμό μεθόδων μηχανικής και χειρωνακτικής διαλογής, διαχωρίζονται ομάδες υλικών τα οποία προέρχονται από διαλογή στην πηγή. Στη συνέχεια, τα υλικά υφίστανται ποιοτική αναβάθμιση και δεματοποίηση ανά υλικό.

Ο σχεδιασμός ενός ΚΔΑΥ και η επιλογή του αντίστοιχου εξοπλισμού εξαρτάται από τις ποσότητες και το είδος των εισερχόμενων υλικών καθώς και από τις απαιτήσεις της αγοράς για τα ανακτώμενα προϊόντα.

Τα υλικά μεταφέρονται από το σημείο υποδοχής τους όπου εκφορτώνονται από τα οχήματα συλλογής, στα σημεία διαχείρισής τους με τη βοήθεια κατάλληλων μεταφορικών συστημάτων. Η διαχείριση που υφίστανται περιλαμβάνει προδιαχωρισμό, κοσκίνιση (γίνεται κυρίως για την απομάκρυνση ξένων προσμίξεων-υλικών), διαχωρισμό σιδηρούχων υλικών, χειροδιαλογή κ.λπ. Στη συνέχεια, ανάλογα με το είδος του υλικού και τις απαιτήσεις της αγοράς, τα υλικά οδηγούνται σε συμπιεστές - δεματοποιητές ή θραυστήρες, κοκκοποιητές κ.λπ. Τέλος, ζυγίζονται, αποθηκεύονται και μεταφέρονται προς πώληση. Τα υπολείμματα από τις διεργασίες αυτές οδηγούνται σε ΧΥΤΑ. [4]

Ένα ΚΔΑΥ συνήθως αποτελείται από τους ακόλουθους χώρους:

- υποδοχής και προσωρινής αποθήκευσης των εισερχόμενων υλικών,
- διαλογής των υλικών,
- αναβάθμισης της ποιότητας των υλικών,
- συσκευασίας των ανακτώμενων υλικών χώρο αποθήκευσης των υλικών και
- εγκαταστάσεις συλλογής και κατακράτησης σκόνης και σωματιδίων.



Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής ΚΔΑΥ [4]

Η διεργασία της μηχανικής διαλογής εφαρμόζεται με σκοπό την ανάκτηση των επί μέρους κλασμάτων του μίγματος των στερεών αποβλήτων, έτσι ώστε αυτά να καταστούν αξιοποιήσιμα.

Στις εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής πραγματοποιείται διαχείριση κυρίως των μικτών οικιακών στερεών αποβλήτων και επιτυγχάνεται διαχωρισμός, ανάκτηση καθώς και περαιτέρω επεξεργασία υλικών που περιέχονται σε αυτά. Τα υλικά που ανακτώνται είναι κυρίως: βιοαποδομήσιμα οργανικά, χαρτί, πλαστικό, μίγμα χαρτιού και πλαστικού, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο.

Οι τεχνικές, που συνήθως χρησιμοποιούνται, κατά την μηχανική διαλογή είναι αυτές

- του αεροδιαχωρισμού,
- του βαλλιστικού διαχωρισμού,
- του μαγνητικού διαχωρισμού και
- των επαγωγικών ρευμάτων.

Βασικές προϋποθέσεις για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας των εγκαταστάσεων είναι ο ορθολογικός προγραμματισμός και ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός σε συνδυασμό με τους επαρκείς οικονομικούς πόρους και τη σωστή διοικητική διάρθρωση.

## **1.4 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Η βιολογική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων βασίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών με την βοήθεια μικροοργανισμών και τη μετατροπή τους μέσω βιοχημικών διεργασιών, σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορες χρήσεις ή να διατεθούν χωρίς προβλήματα για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

### **1.4.1 Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία**

Πρόκειται για ελεγχόμενη βιοοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών, με τη βοήθεια ετερότροφων μικροοργανισμών οι οποίοι βιοαποδομούν τα οργανικά συστατικά παρουσία οξυγόνου. Προϊόν της κομποστοποίησης είναι το compost, το οποίο είναι πλούσιο σε σταθεροποιημένη οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο. Το compost, ανάλογα με την ποιότητά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό υλικό και ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών

Η συνηθέστερη μέθοδος εφαρμογής της κομποστοποίησης είναι η διάταξη σε σειράδια. Η οργανική ύλη τοποθετείται σε σειράδια και μετατρέπεται σταδιακά σε αδρανές υλικό με τη βοήθεια διαδοχικής ανάμειξης που συμβάλλει στην οξυγόνωση του υλικού.

### **1.4.2 Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία**

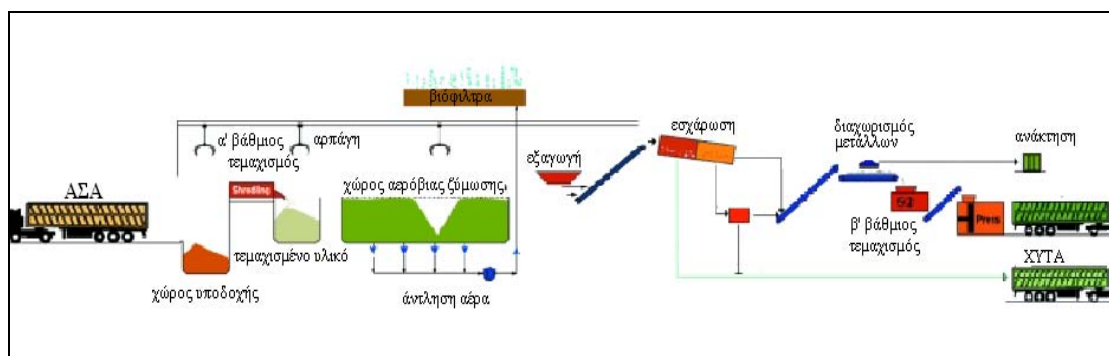
Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί για διάταξη σε σειράδια εφαρμόζεται η τεχνική των κλειστών βιοαντιδραστήρων. Το υλικό τοποθετείται σε κλειστό χώρο και με την βοήθεια μηχανικής ανάμειξης υφίσταται αναερόβια αποσύνθεση.

### 1.4.3.Βιολογική Ξήρανση

Καθώς τα ΑΣΑ συχνά έχουν αρκετά υψηλή υγρασία, με αποτέλεσμα η θερμογόνος δύναμή τους να είναι χαμηλή, και απαιτείται επιπλέον καύσιμο προκειμένου να επιτευχθεί ανάφλεξη γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης τεχνολογιών μείωσης της υγρασίας. Η τεχνολογία της βιολογικής ξήρανσης (Biological Drying) είναι μια από αυτές.

Η διαδικασία έχει αναπτυχθεί από την Ecodeco και έχει ως στόχο την μείωση της μάζας των αποβλήτων προς τελική διάθεση και την εξέλιξή τους σε υλικά κατάλληλα για ανάκτηση πρώτων υλών και ενέργειας. Η μείωση της μάζας επιτυγχάνεται μέσω αερόβιας αποδόμησης των οργανικών των στερεών αποβλήτων απελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η ενέργεια που παράγεται με αυτήν την φυσική διαδικασία δεν χάνεται αλλά χρησιμοποιείται για την εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας των αποβλήτων. Για κάθε 100kg αποβλήτων, περίπου 20-25L νερού εξατμίζεται.

Τα ΑΣΑ αρχικά τεμαχίζονται (μέγιστο μέγεθος 250mm) και στη συνέχεια συσσωρεύονται σε σειράδια όπου και παραμένουν για περίπου 12 ημέρες όπου υποβάλλονται στη διαδικασία της βιο-ξήρανσης. Ο αέρας περνάει μέσω των σειραδίων από αγωγούς που βρίσκονται στο δάπεδο και στη συνέχεια μέσω βιολογικών φίλτρων περνά στην ατμόσφαιρα. Οι μικροοργανισμοί αποδομούν το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων και αυξάνουν τη θερμοκρασία περίπου στους 55°C. Το ξηρό υλικό (stabilate) που παράγεται είναι άοσμο με σημαντικά μειωμένο αριθμό βακτηριδίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση υλικών ή την ανάκτηση ενέργειας. [5]



Εικόνα 1.2: Διάγραμμα ροής βιο-ξήρανσης



## 1.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η θερμική επεξεργασία έχει ως κύριο στόχο την μείωση του όγκου των ΑΣΑ προς διάθεση με τη σύγχρονη μετατροπή τους σε μη επιβλαβή για τη δημόσια υγεία, υλικά και ως δευτερεύοντα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάποια επιμέρους κλάσματα των απορριμμάτων παρουσιάζουν υψηλή θερμογόνο δύναμη και η διάθεσή τους στους χώρους υγειονομικής ταφής συνεπάγεται απώλεια ενέργειας και περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Στη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων ανήκουν οι διεργασίες της καύσης, της πυρόλυσης και της αεριοποίησης.

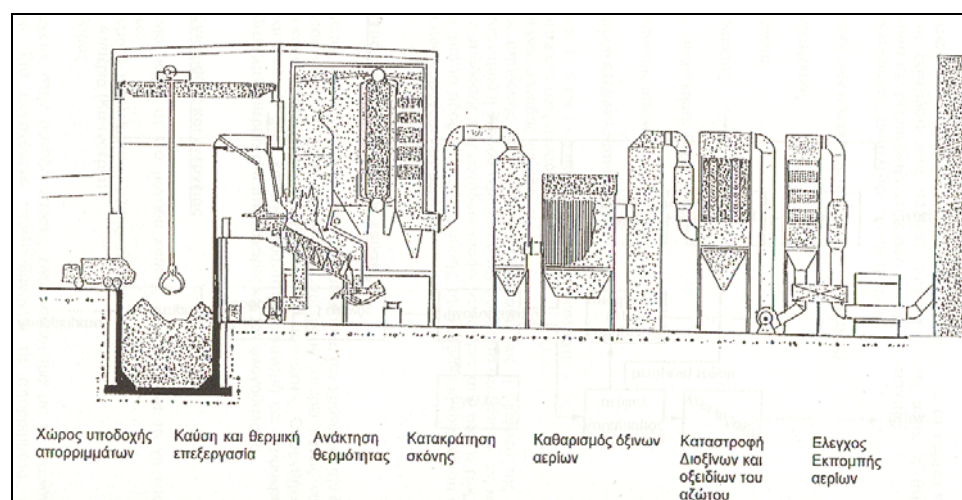
### 1.5.1 Καύση

Η καύση των στερεών αποβλήτων είναι η οξείδωση, δηλαδή η ένωση των χημικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτά, με το οξυγόνο. Πραγματοποιείται με χρήση είτε της απαιτούμενης στοιχειομετρικά ποσότητας αέρα είτε με περίσσεια.

Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

- η επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου,
- η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης,
- η σωστή αναλογία μίγματος καύσιμης ύλης – οξυγόνου,
- η συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση,
- η συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.

Μια μονάδα καύσης αποτελείται βασικά από το ζυγιστήριο το χώρο υποδοχής, το σύστημα τροφοδοσίας τις εστίες καύσης, (εσχάρες, κλίβανοι κ.λπ.), τον λέβητα και το σύστημα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων.[6]

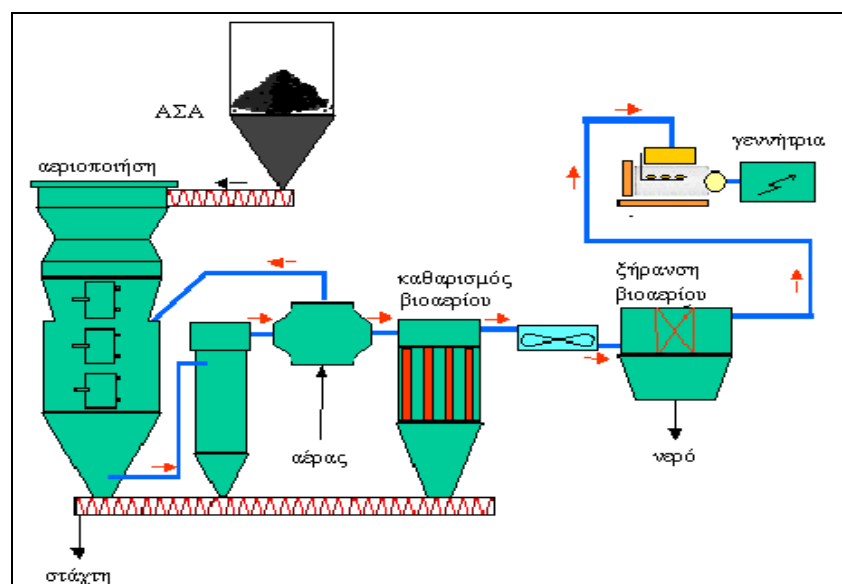
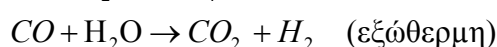
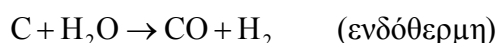


Εικόνα 1.3: Τυπική δομή μονάδας καύσης ΑΣΑ

### 1.5.2 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση πραγματοποιείται μέσω ελεγχόμενης ατελούς καύσης όπου επιτυγχάνεται η παραγωγή καύσιμου αερίου πλούσιο σε H<sub>2</sub> και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο).

Η θερμότητα για τη διατήρηση της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω των ενδόθερμων αντιδράσεων. Οι κύριες αντιδράσεις που συναντώνται κατά την αεριοποίηση είναι:



Εικόνα 1.4: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής συστήματος αεριοποίησης

### 1.5.3 Πυρόλυση

Η πυρόλυση σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους, και η περιεχόμενη υγρασία. [7]

Κατά την διεργασία της πυρόλυσης απορριμμάτων τα προϊόντα που παράγονται είναι κωκ, καύσιμη ύλη, αέρια (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) και υγρά. Η ποσότητα και ποιότητα των προϊόντων αυτών εξαρτάται από τα απορρίμματα, τον αντιδραστήρα και τις συνθήκες λειτουργίας.

Η διεργασία απαιτεί συνεχή τροφοδοσία σε στερεά απόβλητα τα οποία δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη σύστασή τους. Η εφαρμογή της μεθόδου σε ευρεία κλίμακα είναι περιορισμένη. Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 7.

## 1.6 ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Οι εγκαταστάσεις που συντελείται η μεταφόρτωση των απορριμμάτων ονομάζονται Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ) και χωροθετούνται σε βαρύτερα σημεία ως προς τις πηγές δημιουργίας των απορριμμάτων. Δεν αποτελούν αυτόνομη μέθοδο διαχείρισης των ΑΣΑ ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν βασικό τμήμα ενός βιωσιμού τρόπου διαχείρισης.

Οι ΣΜΑ γενικά διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. [8]

### 1.Σ.Μ.Α. χωρίς συμπίεση

Γίνεται απ' ευθείας απόρριψη των ΑΣΑ σε ανοικτά (στο άνω μέρος) containers ή σε κιβωτάμαξες ειδικών οχημάτων (των 30 έως 70 m<sup>3</sup>), είτε άμεσα (ΣΜΑ μικρής δυναμικότητας), είτε έμμεσα (ΣΜΑ μέσης-υψηλής δυναμικότητας), δηλαδή μέσω (προσωρινής εναποθήκευσης) απόρριψης στο δάπεδο κλειστού υπόστεγου ή σε τάφρους και εκ των υστέρων απόρριψη στα containers ή οχήματα, μέσω κατάλληλων μέσων διακομιδής, όπως φορτωτές ή γερανούς με υδραυλικές άρπαγες

### 2. Σ.Μ.Α. με χρήση συμπιεστικών μέσων, χαμηλής ή και υψηλής συμπίεσης

Οι σταθμοί χαμηλού βαθμού συμπίεσης επιτυγχάνουν λόγους έως 1:4 περίπου, ενώ αυτοί με υψηλό βαθμού συμπίεσης 1:6 ή και περισσότερο. Στις περιπτώσεις υψηλής συμπίεσης έχουμε πυκνότητα άνω των 870 kg/m<sup>3</sup>, καταλήγοντας στην δεματοποίηση των απορριμμάτων και την εναπόθεσή τους στους ΧΥΤΑ, υπό την μορφή αυτή, σχηματίζοντας διαστρώσεις δεμάτων.



Εικόνα 1.5: Σταθμός Μεταφόρτωσης ΑΣΑ

## 1.7 ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

Οι κυριότερες μορφές εδαφικής διάθεσης είναι οι εξής:

- ανεξέλεγκτη διάθεση - απόρριψη.

Πρόκειται για τη διάθεση αποβλήτων σε συγκεκριμένους χώρους, χωρίς να λαμβάνεται κανένα μέτρο υγειονομικής ταφής.

- ημιελεγχόμενη διάθεση

Αφορά στη δημιουργία κάποιου χώρου διάθεσης, στον οποίο γίνεται μία τυπική επικάλυψη των αποβλήτων και τηρούνται κάποια στοιχειώδη μέτρα ελέγχου.

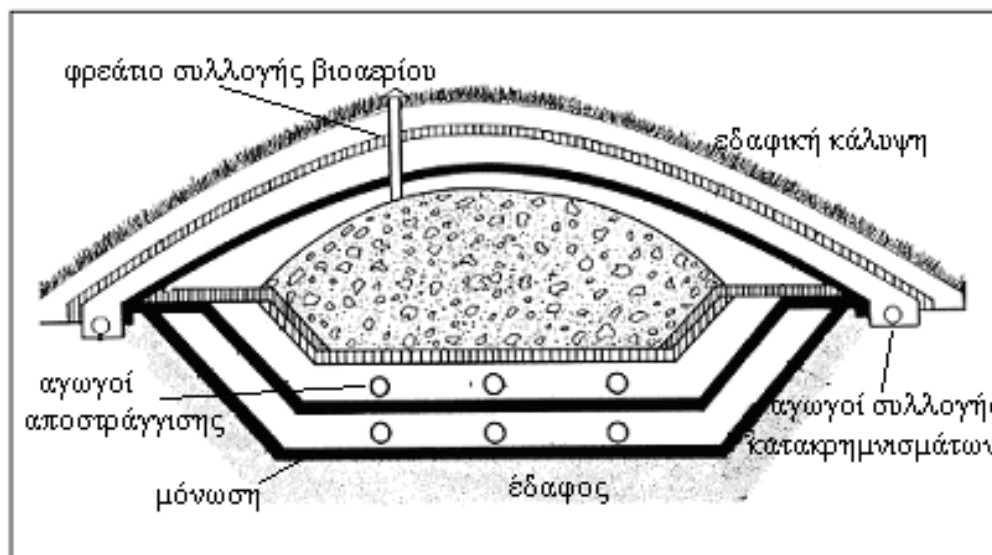
- ελεγχόμενη διάθεση (Υγειονομική ταφή απορριμμάτων ή υπολειμμάτων)

Υγειονομική Ταφή καλείται η διαδικασία σύμφωνα με την οποία τα απορρίμματα εναποτίθενται σε στρώσεις, συμπίεζονται και επικαλύπτονται με χώμα.

Η υγειονομική ταφή έχει κύριους στόχους:

1. την προστασία της δημόσιας υγείας και του φυσικού περιβάλλοντος γενικότερα (υπόγειων νερά κ.λπ.)
2. τη συλλογή και διαχείριση του παραγόμενου βιοαερίου.

Η υγειονομική ταφή ως μέθοδος τελικής διάθεσης έχει αποδειχθεί η πιο οικονομική και συνηθέστερη για τη διάθεση των ΑΣΑ. Τα τελευταία χρόνια έχει τόσο πολύ εξελιχθεί ως μέθοδος, ώστε πολύ μικρή σχέση έχει με την ως τώρα ακολουθούμενη πρακτική ταφής. Με τον τρόπο αυτό έχει καταστεί μία απόλυτα αξιόπιστη και επιστημονικά αποδεκτή μέθοδος για τη διάθεση των αποβλήτων.



Εικόνα 1.6: Τομή ΧΥΤΑ [9]

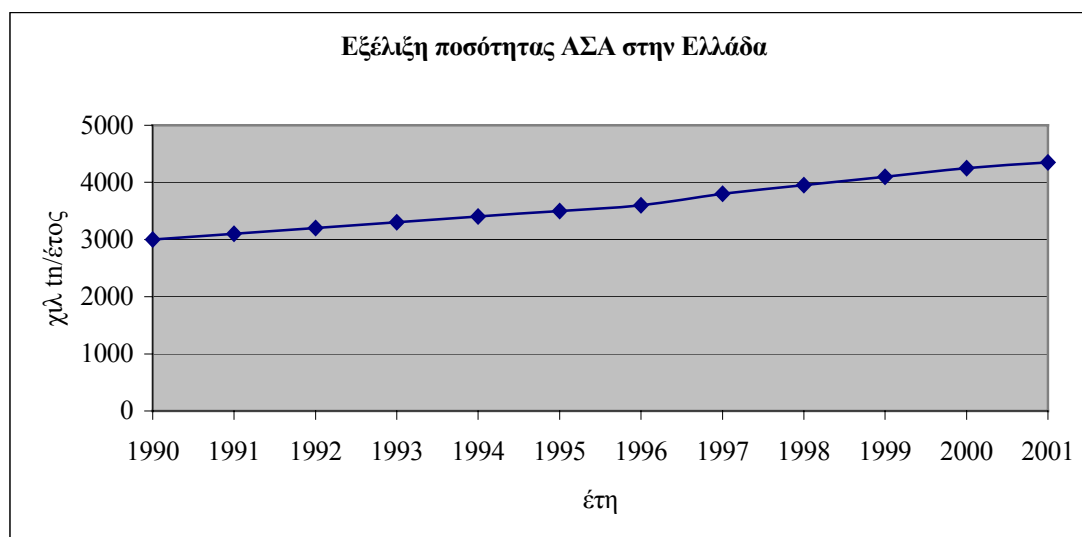
## **Κεφάλαιο 2**

### **ΣΥΝΘΕΣΗ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

#### **2.1 ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

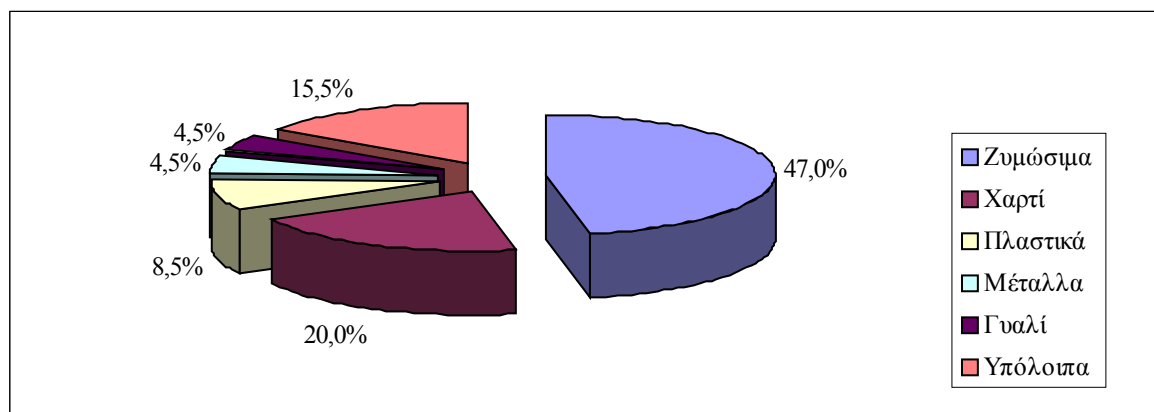
Τα οικιακά απόβλητα περιλαμβάνουν απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες καθώς και ένα μέρος των αποβλήτων που παράγονται από τα εμπορικά καταστήματα. Το ποσό των παραγόμενων οικιακών αποβλήτων φαίνεται να αυξάνει στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες.

Το 1997 η ποσότητα των παραγόμενων οικιακών αποβλήτων σε επίπεδο χώρας ανήλθε σε 3,9 εκατομμύρια τόνους. Η ποσότητα αυτή προσδιορίστηκε βάσει στοιχείων των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων καθώς και εκτιμήσεων που στηρίχθηκαν σε συντελεστές που εκφράζουν την παραγωγή οικιακών αποβλήτων σε συνδυασμό με τα πληθυσμιακά στοιχεία της χώρας για το 1997 (συμπεριλαμβανομένων των μεταναστών και των τουριστών). Η μέση ημερήσια παραγωγή οικιακών αποβλήτων ανέρχεται σε 1 kg/κάτοικο. Στο επόμενο διάγραμμα δίνεται η εξέλιξη των παραγόμενων οικιακών αποβλήτων από το έτος 1991 έως και 1997. [10]



Εικόνα 2.1 Παραγόμενες ποσότητες απορριμμάτων για τα έτη 1990 -2001

Η υφιστάμενη μέση ποιοτική σύσταση των παραγόμενων οικιακών αποβλήτων δίνεται στην εικόνα 2.2 όπως προκύπτει από στοιχεία που έχουν συλλεχθεί για το 30% του πληθυσμού της χώρας καλύπτοντας αστικές, αγροτικές και τουριστικές περιοχές σε συνδυασμό με εκτιμήσεις για τον υπόλοιπο πληθυσμό.



Εικόνα 2.2: Ποιοτική σύσταση οικιακών απορριμμάτων

Ακολουθούν, ενδεικτικά, δύο πίνακες με τη σύσταση των ΑΣΑ στον ελλαδικό χώρο όπως εμφανίζονται στην ελληνική βιβλιογραφία.

Πίνακας 2.1: Ποιοτική σύσταση οικιακών απορριμμάτων ανάλογα με τον πληθυσμό των Ο.Τ.Α. [1]

Συστατικά	Διακύμανση Μέσων Τιμών		Τυπική Τιμή	
	Ο.Τ.Α.> 10000	Ο.Τ.Α. < 10000	Ο.Τ.Α.>10000	Ο.Τ.Α.< 10000
<b>Οργανικά Υλικά</b>				
Τροφικά Υπολείμματα	35-60	50-75	46	62

Χαρτί Χαρτόνι	15-25	12-20	20	16
Πλαστικά	7-15	3-10	8,5	7
Υφάσματα Λάστιχα Δέρματα Ξύλα	4-8	2-6	5	3
Απορρίμματα Κήπων	-	-	1,8	1
<b>Ανόργανα Υλικά</b>				
Γυαλί	2,5-16	2-12	4,5	2,5
Κουτιά Αλουμινίου, Μέταλλα	2,8-10	2-5	5	3,5
Αδρανή (Χώμα, Τέφρα, κ.ά.)	2-12	2-20	3	1
Υπόλοιπα		6,5	4	

Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας [7]

Παράμετρος	Περιοχή						
	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Ρόδος	Χανιά	Κως	Καλαμάτα	Νάξος
Ζυμώσιμα	56	52	41	55	37	47	48
Χαρτί	20	18	15	19	25	25	22
Υ/Ξ/Δ	4	8	4	4	5	6	5
Μέταλλα	3	5	10	4	5	3,5	3
Πλαστικά	7	7	12	8	11	7,5	9
Γυαλί	2,5	4	16	4	12	3	6
Αδρανή&Υπόλοιπα	7,5	6	2	6	5	8	7

Από τον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η αρκετά σημαντική διαφοροποίηση της σύστασης των απορριμμάτων στις ΗΠΑ. Για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται άκριτα τιμές που αφορούν τις ιδιότητες των ΑΣΑ και σχετίζονται άμεσα με τη σύνθεσή τους.

Πίνακας 2.3: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ στις Η.Π.Α [12]

Συστατικά	Η.Π.Α	
	Διακύμανση	Τυπική Τιμή
<b>Οργανικά Υλικά</b>		
Τροφικά	6-18	9

<b>Υπολείμματα</b>		
Χαρτί	25-40	34
Χαρτόνι	3-10	6
Πλαστικά	4-10	7
Υφάσματα	0-4	2
Λάστιχα	0-2	0,5
Δέρματα	0-2	0,5
Απορρίμ. κήπων	5-20	18,5
Ξύλο	1-4	2
<b>Ανόργανα Υλικά</b>		
Γυαλί	4-12	8
Κουτιά (κονσέρβες )	2-8	6
Αλουμίνιο	0-1	0,5
Άλλα Μέταλλα	1-4	3
Χώμα, Τέφρα, κ.ά.	0-6	3
Σύνολο		100

Στο Παράρτημα ΙΙ παρουσιάζονται διαγράμματα από πρόσφατη μεταπτυχιακή διατριβή που πραγματοποιήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης και αφορούσε τη σύσταση των ΑΣΑ σε περιοχές της Κρήτης. [13]

## 2.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η επόμενη ενότητα αφορά τις σημαντικότερες ιδιότητες των ΑΣΑ οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη σύστασή τους.

### 2.2.1 Υγρασία-Υδατοχωρητικότητα

Το ποσό της υγρασίας κατά βάρος ή κατ' όγκο, εκφρασμένο σαν επί τοις εκατό ποσοστό, ορίζεται ως η περιεχόμενη υγρασία των απορριμμάτων. Η υγρασία αυτή αφορά τα ΑΣΑ όπως αυτά φτάνουν στον κάδο ή στο χώρο διάθεσης χωρίς να υπολογιστεί η τυχόν απορρόφηση υγρασίας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η % κ.β. περιεχόμενη υγρασία των ΑΣΑ.

Πίνακας 2.4: Διακύμανση & τυπική τιμή υγρασίας διαφόρων τύπων ΑΣΑ [12]

Τύπος αποβλήτου	Περιεχόμενη Υγρασία, % κ.β.	
	Διακύμανση	Τυπική Τιμή
Από κατοικίες (ασυμπιέστα)		
Απόβλητα τροφίμων (μικτά)	50-80	70



Χαρτί	4-10	6
Χαρτόνι	4-8	5
Πλαστικά	1-4	2
Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα	6-15	10
Λάστιχο	1-4	2
Δέρμα	8-12	10
Απορρίμματα κήπων	30-80	60
Ξύλο	15-40	20
Γυαλί	1-4	2
Δοχεία από κονσέρβες	2-4	3
Αλουμίνιο	2-4	2
Άλλα μέταλλα	2-4	3
Τέφρες	6-12	6
<b>Απορρίμματα κήπων</b>		
Φύλλα (ξηρά)	20-40	30
Πράσινη χλόη (υγρή & συμπιεσμένη)	50-90	80
Απορρίμματα κήπου (τεμαχισμένα)	20-70	50
Απορρίμματα κήπου (composted)	40-60	50
<b>Αστικά</b>		
Σε φορτηγό συμπίεσης	15-40	20
Σε ΧΥΤΑ		
Κανονικά συμπιεσμένα	15-40	25
Καλά συμπιεσμένα	15-40	25
<b>Εμπορικά</b>		
Απορρίμματα τροφίμων (υγρά)	50-80	70
Συσκευές	0-2	1
Ξύλινες κλούβες	10-30	20
Ροκανίδια ξύλου	20-80	5
Απορρίμματα (εύφλεκτα)	10-30	15
Απορρίμματα (μη εύφλεκτα)	5-15	10
Απορρίμματα (μικτά)	10-25	15
<b>Από κατασκευές και κατεδαφίσεις</b>		
Από κατεδαφίσεις (άφλεκτα)	2-10	4
Από κατεδαφίσεις (εύφλεκτα)	4-15	8
Από κατασκευές (εύφλεκτα)	4-15	8
Θρύμματα σκυροδέματος	0-5	-

<b>Βιομηχανικά</b>		
Χημικές ιλύες (υγρές)	75-99	80
Ιπτάμενη τέφρα	2-10	4
Απορρίμματα δέρματος	6-15	10
Απορρίμματα μετάλλων (βαρέων)	0-5	-
Απορρίμματα μετάλλων (ελαφρών)	0-5	-
Απορρίμματα μετάλλων (μικτά)	0-5	-
Πετρέλαια, πίσσες, άσφαλτοι	0-5	2
Πριονίδι	10-40	20
Ύφασμα	6-15	10
<b>Αγροτικά</b>		
Αγροτικά απόβλητα	40-80	50
Αδιάθετα φρούτα	60-90	75
Ζωικά απόβλητα (υγρά)	75-96	94
Αδιάθετα λαχανικά	60-90	75

Η υδατοχωρητικότητα (field capacity) των ΑΣΑ ορίζεται ως η μέγιστη υγρασία (% επί του ξηρού βάρους) που μπορεί να κατακρατηθεί απ' αυτά σε κανονικές συνθήκες πεδίου βαρύτητας (δηλαδή, υπό την επήρεια μόνο της βαρύτητας). Η υγρασία που προστίθεται στα απορρίμματα πέρα από την υδατοχωρητικότητά τους έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή στραγγισμάτων.

Η έννοια μιας συγκεκριμένης τιμής A% για την υδατοχωρητικότητα είναι ότι, εφόσον η % περιεχόμενη υγρασία των ΑΣΑ (επί του ξηρού βάρους) δεν υπερβεί το A%, δεν θα υπάρξει η παρουσία διασταλλαγμάτων λόγω βαρύτητας. Η υδατοχωρητικότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι:

- η σύνθεση των ΑΣΑ,
- ο βαθμός συμπίεσης και
- η έκταση ή ο βαθμός στον οποίο έχει προχωρήσει η βιοαποδόμηση των οργανικών συστατικών.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται διάφορες τιμές για την υδατοχωρητικότητα των ΑΣΑ στις διάφορες φάσεις της διαχείρισής τους.

Πίνακας 2.5: Υδατοχωρητικότητα των ΑΣΑ όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία [14]

<b>Υδατοχωρητικότητα (v/v)</b>	<b>Αναφορά</b>
29	Remson et al. (1968)
29-42	Holmes (1980)
30-40	Straub & Lynch (1982)

20-30	Korfiatis et al. (1984)
20-30	Owesis et al. (1990)
14	Zeiss and Major (1993)
29	Schroeder et al. (1994)
44	Bengtsson et al. (1994)

Ο όρος βέβαια χρησιμοποιείται κυρίως για ομογενή υλικά όπως εδάφη και κονιορτοποιημένα αστικά απορρίμματα. Ωστόσο στα ακατέργαστα αστικά απόβλητα τα υγρά απελευθερώνονται προτού προσεγγιστεί η υδατοχωρητικότητά τους.

Υπάρχουν δυο βασικοί μηχανισμοί για τη διατήρηση της υγρασίας στα οικιακά απορρίμματα:

- η φυσική απορρόφηση του υγρού μέσα στο ΧΥΤΑ, που καθορίζεται από τις δυνάμεις λόγω των τριχοειδών φαινομένων και
- η φαινομενική απορρόφηση του νερού στους κενούς χώρους των απορριμμάτων δίνοντας τοπικές περιοχές κορεσμού.

Οι παράγοντες που φαίνεται να επηρεάζουν τον πρώτο από τους δυο μηχανισμούς είναι:

- οι σύντομες διαδρομές του νερού μέσα στον απορριμματικό όγκο καθώς δεν υπάρχει χρόνος για να απορροφηθεί το νερό από τα στερεά απόβλητα.
- η ενίσχυση του προηγούμενου φαινομένου στις περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης οπότε και ενισχύεται το πιο πάνω φαινόμενο των σύντομων διαδρομών.

Στην βιβλιογραφία όπως φαίνεται, παρουσιάζεται μια αρκετά ευρεία διακύμανση της υδατοχωρητικότητας. Η θεωρητική ιδέα πως τα απορρίμματα συνεχίζουν να απορροφούν υγρασία έως ότου επιτευχθεί η υδατοχωρητικότητα, και θα απελευθερώσουν στη συνέχεια την υγρασία στο ίδιο ποσοστό που την λαμβάνουν είναι προφανώς μια απλοποίηση της διαδικασίας. Η υδατοχωρητικότητα των απορριμμάτων μπορεί να επιτευχθεί λόγω της συσσώρευσης της υγρασίας, ή επειδή η ίδια αλλάζει σαν συνάρτηση της ηλικίας του ΧΥΤΑ, του επιπέδου της συμπίεσης και της αποδόμησης ή από το συνδυασμό των δύο διαδικασιών. [15]

Εκτίμηση της υδατοχωρητικότητας είναι δυνατόν να επιτευχθεί βάσει της σχέσης:

$$FC = 0,6 - 0,55 \left( \frac{W}{10.000 + W} \right) \quad (\text{εξ.2.1})$$

που δίνει τον συντελεστή υδατοχωρητικότητας ως συνάρτηση του βάρους υπερφόρτωσης

όπου FC: ο συντελεστής υδατοχωρητικότητας

W: το βάρος υπερφόρτωσης υπολογισμένο στο μέσο ύψος του ταμπανιού (σε lb)  
 Η υδατοχωρητικότητα των ΑΣΑ υπολογίζεται σαν το γινόμενο του συντελεστή FC επί το ξηρό βάρος των ΑΣΑ. Στο κεφάλαιο 4, όπου χρησιμοποιείται η εξίσωση προκειμένου να υπολογιστούν τα διασταλλάγματα που προκύπτουν από ένα χώρο απόθεσης, γίνεται πιο κατανοητή η υδατοχωρητικότητα και πως αυτή μεταβάλλεται με το χρόνο και με την υπερκείμενη πίεση. [11]

### 2.2.2 Βιοαποδομησιμότητα του οργανικού τμήματος των ΑΣΑ

Τα πτητικά στερεά (VS), προσδιορίζονται με ανάφλεξη στους 550°C και συχνά χρησιμοποιούνται σαν δείκτης για την μέτρηση της βιοαποδομησιμότητας του οργανικού τμήματος των ΑΣΑ. Η χρήση του VS για την περιγραφή της βιοαποδομησιμότητας μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα καθώς τμήμα των οργανικών μπορεί να είναι εξαιρετικά πτητικά αλλά χαμηλής βιοαποδομησιμότητας. Εναλλακτικά, η περιεχόμενη λιγνίνη στα ΑΣΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του βιοαποδομήσιμου τμήματος χρησιμοποιώντας την επόμενη εξίσωση.

$$BF = 0,83 - 0,028 LC \quad (\text{εξ.2.2})$$

όπου

BF: το βιοαποδομήσιμο μέρος εκφρασμένο βάσει του πτητικού τμήματος, 0,83 & 0,028 εμπειρικές σταθερές και

LC: η περιεχόμενη λιγνίνη του VS τμήματος σαν επί τοις εκατό επί ξηρής βάσης.

Η βιοαποδομησιμότητα ορισμένων οργανικών υλικών τα οποία συναντώνται στα ΑΣΑ παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2.6: Η βιοαποδομησιμότητα ορισμένων οργανικών Α.Σ.Α. [11]

Συστατικό	Πτητικά στερεά (VS), % των ολικών στερεών TS	Περιεχόμενη λιγνίνη, % των VS	Βιοαποδομήσιμο τμήμα (BF)
Τροφικά υπολ.	95-98	0,4	0,82
Χαρτί			
- Εφημερίδες	96-99	21,9	0,22
-Χαρτί γραφείου	90-95	0,4	0,82
-Χαρτόνι	90-95	12,9	0,47
Απορρίμματα κήπου	85-90	4,1	0,72

### 2.2.3 Ειδικό Βάρος Α.Σ.Α

Η πυκνότητα των ΑΣΑ είναι μια εξαιρετικά κρίσιμη λειτουργική παράμετρος, καθώς επηρεάζει το διαθέσιμο όγκο για διάθεση των ΑΣΑ, το κόστος λειτουργίας, αλλά και το ρυθμό αποδόμησης της οργανικής ύλης δηλαδή, το ρυθμό παραγωγής αερίων και

διασταλλαγμάτων και τη διαχρονική εξέλιξη των καθιζήσεων. Η επίδραση της πυκνότητας στη βιοαποδόμηση δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή και συνεπώς δεν είναι προβλέψιμη. Όταν το κόστος λειτουργίας πρέπει να διατηρηθεί χαμηλό, η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με ερπυστριοφόρους φορτωτές. [1]

Πίνακας 2.7 Διακύμανση & τυπικό βάρος διαφόρων τύπων ΑΣΑ [11]

Τύπος αποβλήτου	Ειδικό Βάρος, kg/m <sup>3</sup>	
	Διακύμανση	Τυπική Τιμή
<b>Από κατοικίες (ασυμπίεστα)</b>		
Απόβλητα τροφίμων (μικτά)	130-480	290
Χαρτί	40-130	90
Χαρτόνι	40-80	50
Πλαστικά	40-130	65
Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα	40-100	65
Λάστιχο	100-205	130
Δέρμα	100-260	160
Απορρίμματα κήπων	60-225	110
Ξύλο	130-320	240
Γυαλί	160-480	195
Δοχεία από κονσέρβες	50-160	90
Αλουμίνιο	65-240	160
Άλλα μέταλλα	130-1141	320
Τέφρες	650-830	745
Σκουπίδια	90-180	130
<b>Απορρίμματα κήπων</b>		
Φύλλα (ξηρά)	30-150	60
Πράσινη χλόη (υγρή&συμπιεσμένη)	590-830	590
Απορρίμματα κήπου (τεμαχισμένα)	265-355	295
Απορρίμματα κήπου (composted)	265-385	325
<b>Αστικά</b>		
Σε Φορτηγό συμπίεσης	175-450	295
Σε ΧΥΤΑ		
Κανονικά συμπιεσμένα	360-500	450
Καλά συμπιεσμένα	590-740	325
<b>Εμπορικά</b>		
Απορρίμματα τροφίμων (υγρά)	800-1600	540
Συσκευές	150-200	180

Εύλινες κλούβες	110-160	110
Ροκανίδια ξύλου	100-180	150
Απορρίμματα (εύφλεκτα)	50-180	120
Απορρίμματα (μη εύφλεκτα)	85-180	300
Απορρίμματα (μικτά)	140-180	160
<b>Από κατασκευές και κατεδαφίσεις</b>		
Από κατεδαφίσεις (άφλεκτα)	1000-1600	1420
Από κατεδαφίσεις (εύφλεκτα)	300-400	360
Από κατασκευές (εύφλεκτα)	180-360	260
Θρύμματα σκυροδέματος	1120-1800	1540
<b>Βιομηχανικά</b>		
Χημικές ιλύες (υγρές)	800-1100	1000
Ιπτάμενη τέφρα	700-900	800
Απορρίμματα δέρματος	100-250	160
Απορρίμματα μετάλλων (βαρέων)	1500-2000	1780
Απορρίμματα μετάλλων (ελαφρών)	500-900	740
Απορρίμματα μετάλλων (μικτά)	700-1000	900
Πετρέλαια, πίσσες, άσφαλτοι	800-1000	950
Πριονίδι	100-350	290
Υφάσματα	100-220	180
<b>Αγροτικά</b>		
Αγροτικά απόβλητα	400-750	560
Αδιάθετα φρούτα	250-750	360
Ζωικά απόβλητα (υγρά)	890-1050	1000
Αδιάθετα λαχανικά	200-700	360

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα ειδικά βάρη των συνηθέστερων απορριμμάτων που συναντώνται σε ΧΥΤΑ και η αναλογία των μετρίως και καλά συμπιεσμένων απορριμμάτων προς τα ασυμπιεστα. Στο κεφάλαιο 5 εξετάζεται η καθίζηση σε ένα ΧΥΤΑ και η εξέλιξη του ειδικού βάρους των ΑΣΑ σε σχέση με το χρόνο και το υπερκείμενο βάρος.

Πίνακας 2.8 Εδικό βάρος διαφόρων τύπων απορριμμάτων [16]

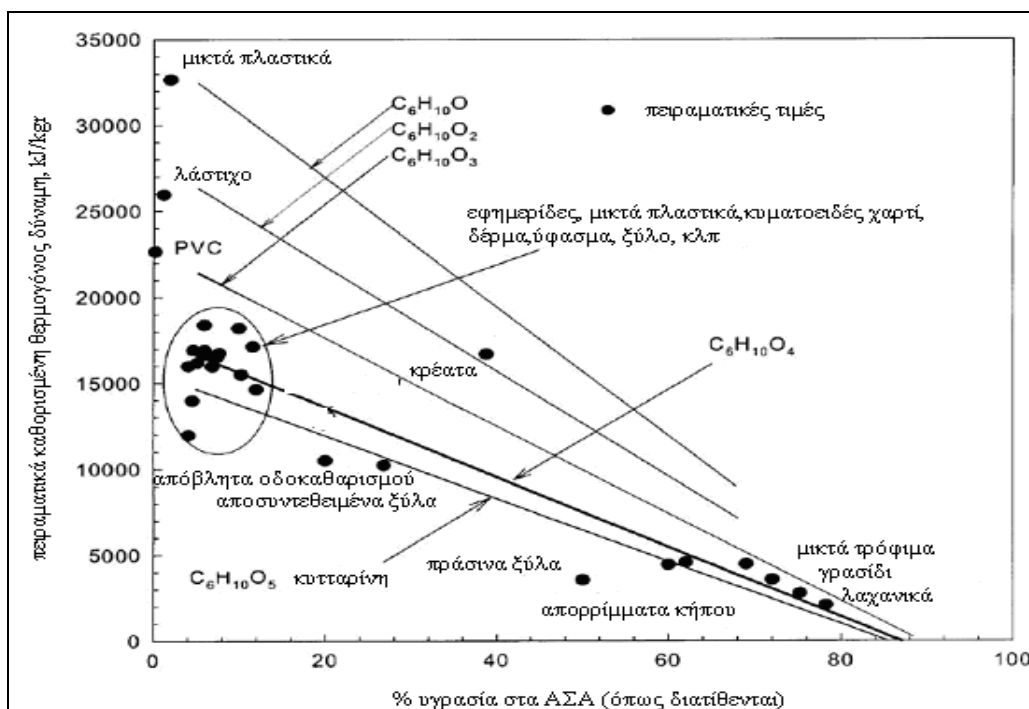
Τύπος αποβλήτου	Ειδικό βάρος, (kg/m <sup>3</sup> )	Αναλογία προς τα ασυμπιεστα	
	Ασυμπιεστων ΑΣΑ	Κανονικά συμπιεσμένων	Καλά Συμπιεσμένων
Υπολειμ. τροφίμων	290	2,9	3,0

Χαρτί, Χαρτόνι	65	4,5	6,2
Πλαστικό	65	6,7	10
Υφασμα	65	5,6	6,7
Λάστιχο - Δέρμα	145	3,3	3,3
Απορρίμματα κήπων	100	4,0	5,0
Ξύλο	240	3,3	3,3
Γυαλί	195	1,7	2,5
Μέταλλα	192	4,3	5,3
Τέφρα, Σκόνη κλπ	480	1,2	1,3

### 2.2.4 Θερμογόνος Δύναμη

Η μάζα των αποβλήτων διακρίνεται από μεγάλη ανομοιογένεια και διακύμανση της αναλογίας σε οργανικά και ανόργανα συστατικά. Το γεγονός αυτό αποτελεί παράγοντα δυσκολίας για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας, για τον υπολογισμό του ισοζυγίου μάζας - ενέργειας και των εκπομπών της μονάδας. Οι βασικότερες ιδιότητες των αποβλήτων που επηρεάζουν την συμπεριφορά τους στην καύση είναι: [15]

- η ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη,
- η περιεκτικότητα σε υγρασία (% κ.β.) και σε στάχτη (% κ.β.) και
- οι πτητικές ύλες (% κ.β.)



Εικόνα 2.3: Θερμογόνος Δύναμη ανά υλικό συναρτήσει υγρασίας [18]

Η τιμή του καυσίμου περιγράφεται από τους όρους ολική θερμογόνος δύναμη ή Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (HHV), και καθαρή θερμογόνος δύναμη η οποία συχνά αναφέρεται και ως Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (LHV). Η ολική θερμογόνος δύναμη καθορίζεται από την ολική καύση ενός ζυγισμένου δείγματος σε ένα θερμιδόμετρο και την θερμότητα που απελευθερώνεται, μετρώντας την αύξηση της θερμοκρασίας της δεξαμενής νερού που το περιβάλλει. Η ανώτερη θερμογόνος τιμή κάποιων ΑΣΑ παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.9: Θερμογόνος δύναμη βασικών υλικών ΑΣΑ

Τύπος απορρίμματος	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
RDF	13,3-14,4
Χαρτί	16,7-18,6
Κήπου	9,8-16,3
Υπολείμ.φαγητού	4,2-18,1
Πλαστικό	22,1-41,9
Εύλο	10,9-16,3
Λάστιχο	27,9-32,6

Υλικά με θερμογόνο δύναμη (μεγαλύτερη από 5MJ/kg), χαμηλή περιεχόμενη υγρασία (μικρότερη από 50%) και μικρή περιεκτικότητα σε τέφρα (μικρότερη από 60%) μπορούν να καούν χωρίς πρόσθετο καύσιμο. Το εύφλεκτο τμήμα των απορριμμάτων μπορεί να χωριστεί σε πτητικό και υπολειμματικό. Ο καθορισμός αυτών των στοιχείων επιτυγχάνεται θερμαίνοντας το απόρριμμα απουσία οξυγόνου υπό σταθερές συνθήκες. Τμήμα του υλικού εξαϋλώνεται αφήνοντας ένα απανθρακωμένο υπόλειμμα. Η ύπαρξη πτητικού τμήματος συνδέεται στενά με την παρουσία φλόγας κατά την καύση.

Σε κάθε ανάλυση είναι αναγκαία η χημική σύσταση του καυσίμου μέρους των απορριμμάτων σε σχέση με την τέφρα και τα χημικά στοιχεία, άνθρακας, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, θείο και χλώριο. Η στοιχειακή ανάλυση αρκετών τύπων απορριμμάτων που συναντώνται στα ΑΣΑ παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2.10: Στοιχειακή ανάλυση υλικών ΑΣΑ [11]

Τύπος απορρίμματος	Ποσοστό επί του βάρους (% , ξηρή βάση)					
	Ανθρακας	Υδρογόνο	Οξυγόνο	Άζωτο	Θείο	Τέφρα
<b>Γρόφιμα</b>						
Λίπη	73,0	11,5	14,8	0,4	0,1	0,2
Απόβλητα τροφίμων	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0



(μικτά)						
Απόβλητα φρούτων	48,5	6,2	39,5	1,4	0,2	4,2
Απόβλητα κρέατος	59,6	9,4	24,7	1,2	0,2	4,9
Προϊόντα χαρτιού						
Χαρτόνι	43,0	5,9	44,8	0,3	0,2	5,0
Περιοδικά	32,9	5,0	38,6	0,1	0,1	23,3
Εφημερίδες	49,1	6,1	43,0	<0,1	0,2	1,5
Χαρτί (μικτό)	43,4	5,8	44,3	0,3	0,2	6,0
Χαρτοκιβώτια	59,2	9,3	30,1	0,1	0,1	1,2
<b>Πλαστικά</b>						
Πλαστικά (μικτά)	60,0	7,2	22,8	-	-	10,0
Πολυαιθυλένιο	85,2	14,2	-	<0,1	<0,1	0,4
Πολυστυρόλιο	87,1	8,4	4,0	0,2	-	0,3
Πολυουρεθάνη	63,3	6,3	17,6	6,0	<0,1	4,3
PVC	45,2	5,6	1,6	0,1	0,1	2,0
<b>Υφασμα, λάστιχο, δέρμα</b>						
Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα	48,0	6,4	40,0	2,2	0,2	3,2
Λάστιχο	69,7	8,7	-	-	1,6	20,0
Δέρμα	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
Εύλο, δέντρα, κ.λπ.						
Απορρίμματα κήπων	46,0	6,0	38,0	3,4	0,3	6,3
Εύλο(πράσινη ξυλεία)	50,1	6,4	42,3	0,1	0,1	1,0
Σκληρό ξύλο	49,6	6,1	43,2	0,1	<0,1	0,9
Εύλο (μικτό)	49,5	6,0	42,7	0,2	<0,1	1,5
<b>Γυαλί, μέταλλα κλπ</b>						
Γυαλί και ορυκτά	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
Μέταλλα (μικτά)	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Διάφορα						
Ελαια, χρώματα	66,9	9,6	5,2	2,0	-	16,3
RDF	44,7	6,2	38,4	0,7	<0,1	9,9

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων, σε διάφορες χώρες, όπως αυτά απορρίπτονται, σύμφωνα με την βιβλιογραφία.

Πίνακας 2.11: Δεδομένα σύνθεσης και εκτιμώμενη θερμογόνο δύναμη απορριμμάτων σε διάφορες χώρες [17]

Χώρα	Χαρτί %	Μέταλλα %	Γυαλί %	Τροφ. υπολ. %	Πλαστικά %	Θ.Δ.(όπως απορρίπτονται) (MJ/kg)
Αυστραλία	38	11	18	13	0,1	8,05
Αυστρία	35	10	9	24	6,0	10,26
Μπαγκλαντές	2,0	1,0	9,0	40	1,0	2,90
Βέλγιο	30	5,3	8	40	5,0	9,78
Βουλγαρία	10	1,7	1,6	54	1,7	5,45
Βιρμανία	1,0	3,0	6,0	80	4,0	5,96
Κολομβία	22	1,0	2,0	56	5,0	9,09
Τσεχοσλοβακία	13,4	6,2	6,6	41,8	4,2	6,38
Δανία	32,9	4,1	6,1	44	6,8	11,22
Αγγλία	37,0	8,0	8,0	28	2,0	9,37
Φινλανδία	55,0	5,0	6,0	20	6,0	13,90
Γαλλία	30,0	4,0	4,0	30	1,0	7,76
Γερμανία	20,0	5,0	10,0	21	2,0	5,72
Χονγκ Κονγκ	32	2,0	10	9	11,0	10,74
Ινδία	3	1,0	8,0	36	1,0	2,88
Ινδονησία	10	2,0	1,0	72	6,0	8,01
Ιράν	17,2	1,8	2,1	69,8	3,8	8,46
Ιταλία	31	7,0	3,0	36,0	7,0	10,50
Ιαπωνία	21	5,7	3,9	50,0	6,2	9,03
Κένυα	12,2	2,7	1,3	42,6	1,0	5,00
Κάτω Χώρες	22,2	3,2	11,9	50,0	6,2	9,26
Νέα Ζηλανδία	28	6,0	7,0	48	0,1	8,00
Νιγηρία	15,5	4,5	2,5	51,5	2,0	6,49
Νορβηγία	38,2	2,0	7,5	30,4	6,5	11,40
Πακιστάν	2,2	2,2	1,75	52,5	1,2	3,68
Φιλιππίνες	17,0	2,0	5,0	43,0	4,0	7,06
Σαουδική Αραβία	24,0	9,0	8,0	55,0	2,0	8,31
Σιγκαπούρη	43	3,0	1,0	5,0	6,0	10,78
Ισπανία	18	4,0	3,0	50	4,0	7,63
Σρι Λάνκα	8	1,0	6	80	1,0	6,19
Σουηδία	50	7,0	8,0	15	8,0	13,41

Ταίβαν	8	1,0	3,0	25	2,0	3,62
--------	---	-----	-----	----	-----	------

Στην περίπτωση κατά την οποία δεν υπάρχουν δεδομένα θερμοδομέτρου είναι δυνατόν η θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων να υπολογιστεί από διάφορες εξισώσεις που έχουν αναπτυχθεί για αυτό το σκοπό, και στηρίζονται πάνω σε στοιχειακές αναλύσεις των απορριμμάτων. Οι περισσότερες εξισώσεις είναι γραμμικοί συνδυασμοί των τμημάτων των απορριμμάτων ή των επί τοις εκατό ποσοστών των στοιχείων τα οποία αποτελούν τα απορρίματα, με κατάλληλα επιλεγμένες σταθερές.

Οι Hazome et al (1979) ανέπτυξαν την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) \cdot (0,339(\%C) + 1,44(\%H) - 0,139(\%O) - 0,105(\%S)) \quad (\text{εξ.2.3})$$

όπου HHV η ανώτατη θερμογόνο δύναμη και (C), (H), (O) και είναι (S) είναι τα βάρη (ή μάζες) επί τοις εκατό άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και θείο αντίστοιχα.

Η HHV υπολογίζεται επίσης και από τις σχέσεις που ακολουθούν.

Σύμφωνα με τους Lloyd and Davenport (1980) ισχύει η εξίσωση:

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) \cdot (0,3578(\%C) + 1,1357(\%H) - 0,0845(\%O) + 0,0594(\%N) + 0,1119(\%S))$$

[MJ/kg] (εξ.2.4)

Μια άλλη εξίσωση που έχει εφαρμοστεί ευρέως στην τεχνολογία της καύσης είναι

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) \cdot (0,3517(\%C) + 1,1625(\%H) - 0,1109(\%O) + 0,0628(\%N) + 0,1109(\%S))$$

[MJ/kg] (εξ.2.5)

και αναπτύχθηκε από τους Boie et al.

Μια εξίσωση που στηρίζεται σε θερμοχημικές έννοιες για την πρόβλεψη της HHV απορρίματα είναι η επόμενη: (Wilson 1972)

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) \cdot (0,3279(\%C) + 1,533(\%H - \%O/8) - 0,0928(\%S) - 0,0242(\%N) + 0,0248(\%O))$$

[MJ/kg] (εξ.2.6)

Η πλέον γνωστή πάντως και χρησιμοποιούμενη είναι η τροποποιημένη Dulong

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) \cdot (0,3373(\%C) + 1,4423(\%H - \%O/8) + 0,09304(\%S) + 0,02326(\%O))$$

[MJ/kg] (εξ.2.7)

Σε μια πιο σύνθετη προσέγγιση, ο Wilson (1972) προσεγγίζει την HHV χρησιμοποιώντας μια εξίσωση που αναπτύχθηκε βάσει θερμοχημικών αρχών, της θερμογόνου δύναμης του άνθρακα και του θείου, τους τύπους άνθρακα που υπάρχουν, και το σχηματισμό του νερού:

$$HHV = 0,3279(C_o) + 1,504(H) - 0,1383(O) - 0,1484(C_i) + 0,09262(S) + 0,02419(N) \quad (\text{εξ.2.7})$$

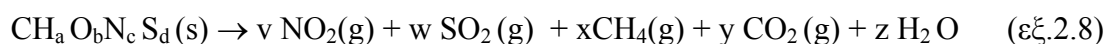
όπου

$C_o$ : % βάρος του οργανικού άνθρακα,

$C_i$ : % βάρος του ανόργανου άνθρακα (χαρακτηριστικά περίπου 1,2% του συνολικού άνθρακα)

H, O, S, και N τα % βάρη του υδρογόνου, του οξυγόνου, του θείου, και του αζώτου, αντίστοιχα. [15]

Μια διαφορετική προσέγγιση παρουσιάζεται στη συνέχεια. Έστω η μετατροπή της ένωσης  $CH_a O_b N_c S_d$  σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.



Στην εξίσωση αυτή το μεθάνιο είναι το μόνο ανηγμένο προϊόν, έτσι ο υπολογισμός των συντελεστών της στοιχειομετρίας οδηγεί στον υπολογισμό του HHV του οργανικού αντιδρώντος ως η ενέργεια που ελευθερώνεται εξαιτίας της καύσης και του παραγόμενου μεθανίου. Προφανώς οποιοσδήποτε κορεσμένος υδρογονάνθρακας θα μπορούσε να επιλεγεί ωστόσο επιλέγεται το μεθάνιο καθώς είναι ο απλούστερος κορεσμένος υδρογονάνθρακας και η ενέργεια που παράγεται κατά την καύση του είναι γνωστή και ίση με 890,36 kJ/mol.

Επιπλέον, ο βαθμός οξείδωσης του υδρογόνου είναι +1 και του οξυγόνου -2 και το ηλεκτρικό φορτίο του  $CH_a O_b N_c S_d$  είναι 0. Θεωρήσεις επίσης για τον βαθμό οξείδωσης του αζώτου και του θείου είναι αναγκαίες. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.12, τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται σε σχετικά χαμηλές ποσότητες, όμως ο αρχικός βαθμός οξείδωσής τους δεν είναι γνωστός. Γίνονται λοιπόν οι υποθέσεις:

(i) ο αρχικός βαθμός οξείδωσης του αζώτου είναι -3 όπως στις αμίνες και τα αμίδια,  
(ii) ο αρχικός βαθμός οξείδωσης του θείου είναι -2, όπως στις θειόλες (μερκαπτάνες).  
Οπότε ο συνολικός βαθμός οξείδωσης του άνθρακα είναι  $2d + 3c + 2b - a$ . Το άζωτο και το θείο οξειδώνονται σε  $NO_2$  και  $SO_2$  αντίστοιχα, έτσι από τον υποθετικό μετασχηματισμό της προηγούμενης εξίσωσης οι βαθμοί οξείδωσης του αζώτου και του θείου αλλάζουν από -3 και -2 σε -2 και +4 αντίστοιχα. Συνεπώς, ο τελικός μέσος βαθμός οξείδωσης του άνθρακα είναι  $-4d -4c + 2b - a$ . Επιπλέον, στα προϊόντα της εξίσωσης 2.8 η οξειδωτική κατάσταση του άνθρακα είναι η ίδια. Η ισότητα έχει ως εξής:

$$4(y-x) = -4d - 4c - 2b - a$$

Οπότε η παραγωγή του μεθανίου ανά mol αεριοποιούμενου οργανικού άνθρακα  $x+y=1$  είναι

$$x = \frac{4d + 4c - 2b + a + 4}{8}$$

οπότε η HHV προκύπτει τελικά πολλαπλασιάζοντας την παραγωγή του μεθανίου, με τη συνήθη ενέργεια καύσης του μεθανίου. Η εξίσωση (Meraz, 2002) που προκύπτει κανονικοποιημένη σε ένα kg αντιδρώντος είναι η παρακάτω:

$$HHV = \left(1 - \frac{\%H_2O}{100}\right) (0,0927)(4d + 4c - 2b + a + 4) \quad (\text{εξ.2.9})$$

Οι τιμές των a, b, c και d για τα ποικίλα ΑΣΑ παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.12: Ανηγμένος τύπος επί ξηρής βάσης ΑΣΑ [19]

Τύπος ΑΣΑ	Ανηγμένος τύπος επί ξηρής βάσης
Υπολείμ.φαγητού	CH <sub>1,6000</sub> O <sub>0,5875</sub> N <sub>0,0464</sub> S <sub>0,0031</sub>
Χαρτί	CH <sub>1,6552</sub> O <sub>0,7586</sub> N <sub>0,0059</sub> S <sub>0,0017</sub>
Πλαστικό	CH <sub>1,4400</sub> O <sub>0,2850</sub> N <sub>0,0000</sub> S <sub>0,0000</sub>
Ύφασμα	CH <sub>1,4400</sub> O <sub>0,4255</sub> N <sub>0,0717</sub> S <sub>0,0014</sub>
Λάστιχο	CH <sub>1,6000</sub> O <sub>0,1450</sub> N <sub>0,14286</sub> S <sub>0,0025</sub>
Δέρμα	CH <sub>1,5385</sub> O <sub>0,0000</sub> N <sub>0,02198</sub> S <sub>0,0000</sub>
Γυαλί	CH <sub>2,4002</sub> O <sub>0,6001</sub> N <sub>0,1714</sub> S <sub>0,0000</sub>
Μέταλλα	CH <sub>1,6000</sub> O <sub>0,7167</sub> N <sub>0,0191</sub> S <sub>0,0000</sub>
Υπολείμ. Κήπου	CH <sub>1,5063</sub> O <sub>0,5962</sub> N <sub>0,0610</sub> S <sub>0,0024</sub>
Σκόνη κτλ	CH <sub>1,3688</sub> O <sub>0,0570</sub> N <sub>0,0170</sub> S <sub>0,0029</sub>

Οι τύποι του πίνακα έχουν προκύψει βάσει της στοιχειακής ανάλυσης του κάθε απορρίμματος.

Ο πίνακας με τις επόμενες εμπειρικές τιμές (EXP) έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να προκύψουν τα συγκριτικά διαγράμματα στις εικόνες 2.4 και 2.5.

Πίνακας 2.13: Τυπικές τιμές ΑΘΔ για υπολογισμό EXP [19]

Τύπος απορρίμματος	ΑΘΔ (MJ/kg)
Χαρτί	15,8
Υπολείμ. κουζίνας	6,45
Ύφασμα	17,24

Λάστιχο	25,33
Δέρμα	17,44
Γυαλί	0,14
Μέταλλα	0,7
Σκόνη, αδρανή κτλ	15
Ξύλο	17

Μια ακόμα μεθοδολογία εκτίμησης της θερμογόνου δύναμης όπως παρουσιάζεται στην [20] ακολουθεί.

Υπολογίζεται η θερμογόνος δύναμη,  $H_{awf}$  (θερμογόνος δύναμη μη συμπεριλαμβανομένης στάχτης και υγρασίας) του απορρίμματος από τη σχέση:

$$H_{awf} = H_{sup.ds} / (1-A) \cdot M_{cw} \cdot 2455 \text{ kJ/kg} \quad (\text{εξ.2.10})$$

όπου

$H_{sup.ds}$ : η ΑΘΔ που προσδιορίζεται σύμφωνα με την DIN 519000

A: η στάχτη ανά kg ξηρού δείγματος

$M_{cw}$ : το βάρος του συμπυκνωμένου νερού ανά kg ξηρού δείγματος

Τυπικές τιμές του  $H_{awf}$  για διάφορα υλικά παρουσιάζονται στον πίνακα 2.12.

Πίνακας 2.14: Τυπικές τιμές  $H_{awf}$  [20]

Τύπος απορρίμματος	$H_{awf}$ (MJ/kg)
Χαρτί	16,0
Υπολείμ. κουζίνας	17,0
Ύφασμα	20,0
Λάστιχο, Δέρμα	23,0
Γυαλί	0
Μέταλλα	0
Σκόνη	6,98
Υπολ. κήπου	6,51

Παράδειγμα εμπειρικής εξίσωσης για την πρόβλεψη της θερμογόνου δύναμης των ΑΣΑ που βασίζεται στα κυρίως καύσιμα συστατικά των ΑΣΑ χαρτί, πλαστικό και τρόφιμα (όπως απορρίπτονται), αναπτύχθηκε από τους Khan και Abu-Ghararah (1991)

$$HV = 0,0535 [F + 3.6 CP] + 0,372 PLR, \text{ MJ/kg} \quad (\text{εξ.2.11})$$

όπου

F: % μάζα των τροφίμων,

CP: % μάζα του χαρτιού,

PLR: % μάζα πλαστικού, δέρματος και λάστιχου (ξηρό μίγμα αποβλήτων).[17]  
Πρόκειται ουσιαστικά για μια εξίσωση που έχει προκύψει από στατιστική ανάλυση.

Οι Liu, Paode και Holsen μελέτησαν διάφορες σχέσεις που έχουν εφαρμοστεί για ΑΣΑ μελέτησαν διάφορες σχέσεις στατιστική ανάλυση παλινδρόμησης για την ανάπτυξη μιας εξίσωσης για την πρόβλεψη της καθαρής θερμογόνου δύναμης των ΑΣΑ στην πόλη Kaohsiung της Ταϊβάν ( $H_n$ ).

$$H_n = 1558,80 + 19,96 (\%C) + 44,30 (\%O) - 671,82 (\%S) - 19,92 (\%W) \quad (\text{kcal/kg}) \quad (\text{εξ.2.12})$$

Μειονέκτημα ωστόσο αποτελεί το γεγονός πως είναι ελάχιστα στατιστική η παραπάνω και, επομένως, πιθανόν να είναι κατάλληλο μόνο για το συγκεκριμένο τύπο ΑΣΑ που μελετήθηκε. Για παράδειγμα, δεν έχει χωριστό συντελεστή για το υδρογόνο ενώ υπάρχει αρνητικός συντελεστής στο θείο. Τα απορρίμματα που μελετήθηκαν είχαν χαμηλές τιμές θείου και, επομένως, ο αρνητικός συντελεστής δεν είχε σημαντικές επιπτώσεις στο αποτέλεσμα. Έτσι λοιπόν, η εξίσωση αυτή δεν μπορεί να επεκταθεί με εμπιστοσύνη και σε άλλους τύπους ΑΣΑ. [22]

Σε άλλες μελέτες παρουσιάζονται εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού της θερμογόνου δύναμης των ΑΣΑ όπως η επόμενη: [23]

$\Theta.\Delta. = (\text{θερμογόνος δύναμη εύφλεκτων}) \cdot X_{\text{ευφλ.}} - (\text{απώλεια θερμότητας εξαιτίας του νερού στην τροφοδοσία}) \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} - (\text{απώλεια θερμότητας εξαιτίας του γυαλιού στην τροφοδοσία}) \cdot X_{\text{γυαλι}} - (\text{απώλεια θερμότητας εξαιτίας των μετάλλων στην τροφοδοσία}) \cdot X_{\text{μέταλλα}}$

ή

$$\Theta.\Delta. = 18400 \cdot X_{\text{ευφλ.}} - 2636 \cdot X_{\text{H}_2\text{O}} - 628 \cdot X_{\text{γυαλι}} - 544 \cdot X_{\text{μέταλλα}}, \text{ kJ/kg} \quad (\text{εξ.2.13})$$

Όπου  $X_{\text{ευφλ.}}$ ,  $X_{\text{H}_2\text{O}}$ , κτλ το κλάσμα των εύφλεκτων του νερού κ.ο.κ [19]

Σε κάθε περίπτωση η ολική ανώτερη θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων θα είναι

$$HHV = \sum_i f_i HHV_i$$

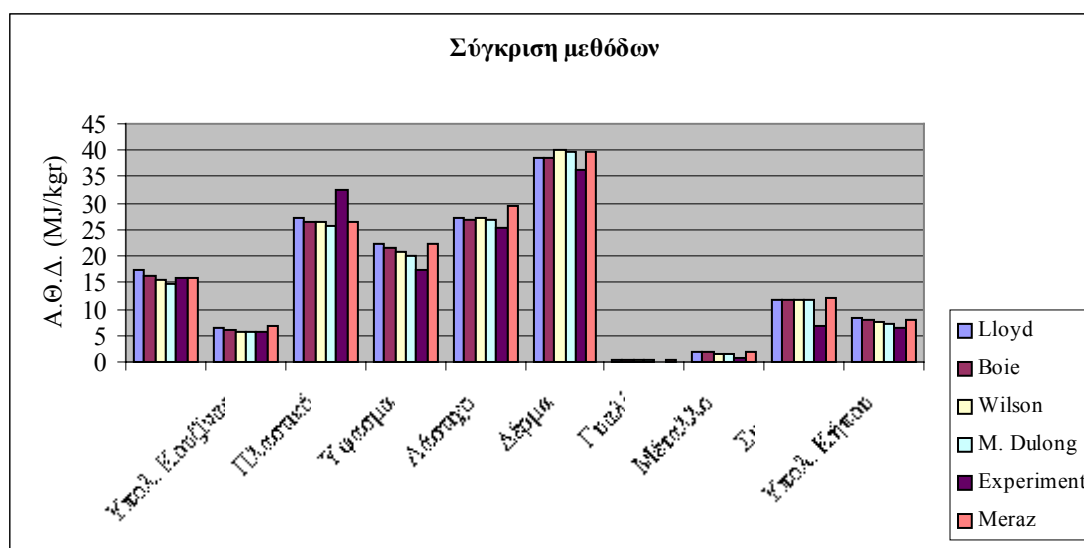
όπου  $f_i$  το κλάσμα του κάθε υλικού.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι ανώτατες τιμές θερμογόνου δύναμης των βασικών υλικών των ΑΣΑ σύμφωνα με τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν πριν και στηρίζονται σε στοιχειακή ανάλυση.

Πίνακας 2.15: ΑΘΔ ανάλογα με το υλικό και την μέθοδο εκτίμησης

	ΑΘΔ, MJ/kg						
Τύπος ΑΣΑ	Lloyd	Boie	Wilson	Dulong	Experim.	Meraz	Hawf

Χαρτί	17,41	16,44	15,53	14,81	15,80	15,80	15,12
Υπολ. Κουζίνας	6,44	6,11	5,81	5,57	5,51	6,71	18,80
Πλαστικό	27,16	26,40	26,37	25,77	32,56	26,54	26,57
Ύφασμα	22,33	21,48	20,77	20,14	17,24	22,40	30,57
Λάστιχο	27,15	26,81	27,25	26,77	25,33	29,47	40,80
Δέρμα	38,59	38,40	40,14	39,69	36,24	39,86	29,98
Γυαλί	0,26	0,25	0,25	0,24	0,14	0,27	0,24
Μέταλλο	1,88	1,76	1,63	1,55	0,70	1,72	1,47
Σκόνη	11,68	11,56	11,89	11,75	6,98	11,96	12,90
Υπολ. Κήπου	8,37	7,93	7,46	7,14	6,51	8,09	18,10



Εικόνα 2.4: Ανώτερες τιμές Θ.Δ. των υλικών των ΑΣΑ ανά μέθοδο

Το LHV αποτελεί ορθότερο μέτρο από το HHV όσον αφορά την θερμότητα που απελευθερώνεται από τα απόβλητα υπό πραγματικές συνθήκες. Το HHV είναι η ολική θερμότητα που απελευθερώνεται όταν ένα μικρό δείγμα του υλικού που καίγεται σε έναν θερμιδομετρητή δοκιμής και σε μια αναφορά θερμοκρασίας (συνήθως 25<sup>ο</sup> C) και όλα τα προϊόντα βρίσκονται στη σταθερή τους κατάσταση στην ίδια θερμοκρασία. Το HHV περιλαμβάνει η θερμότητα της συμπύκνωσης των υδρατμών που σχηματίστηκαν κατά την αντίδραση καύσης, γεγονός που δεν είναι ρεαλιστική για τις εγκαταστάσεις καύσης.

Το LHV σχετίζεται με το HHV απευθείας μέσω της θερμότητας εξάτμισης του νερού, όπως φαίνεται στην περίπτωση του μεθανίου: [22]



όπου  $\text{HHV} = 212.800 \text{ cal/gmole CH}_4$ ,



όπου  $\text{LHV} = \text{HHV} - 2 \cdot (\Delta\text{H}_v \text{ νερού}) = 212.800 - 2 \cdot 10.519 = 191.762 \text{ cal/gmole CH}_4$

(εξ.2.14)



Το LHV συνεπώς αντιπροσωπεύει την ενέργεια που μπορεί πραγματικά να ληφθεί από την καύση των απορριμμάτων. Υπολογίζεται από τη σχέση σύμφωνα με τους Hougan et al. (1954) από τη σχέση:

$$LHV = HHV \text{ (MJ/kg)} - 0,0244 (W + 9H), \text{ MJ/kg}$$

όπου

W: % μάζα της υγρασίας και

H: % βάρος (ή μάζα) του υδρογόνου επί ξηρού βάρους.

Όσον αφορά την μεθοδολογία της [20] η ΚΘΔ υπολογίζεται από την εξ.2.15

$$H_{inf} = H_{awf} \cdot C - 2445 \cdot W, \text{ σε kJ/kg} \quad (\text{εξ.2.15})$$

όπου

C: το καύσιμο τμήμα του απορρίμματος και

W: η υγρασία του φρέσκου απορρίμματος.

Το C υπολογίζεται ως εξής:

Αρχικά προσδιορίζεται το ολικό στερεό τμήμα του υλικού αφαιρώντας από το αρχικό βάρος την υγρασία..

$$TS_i(\%) = 100 - W_i$$

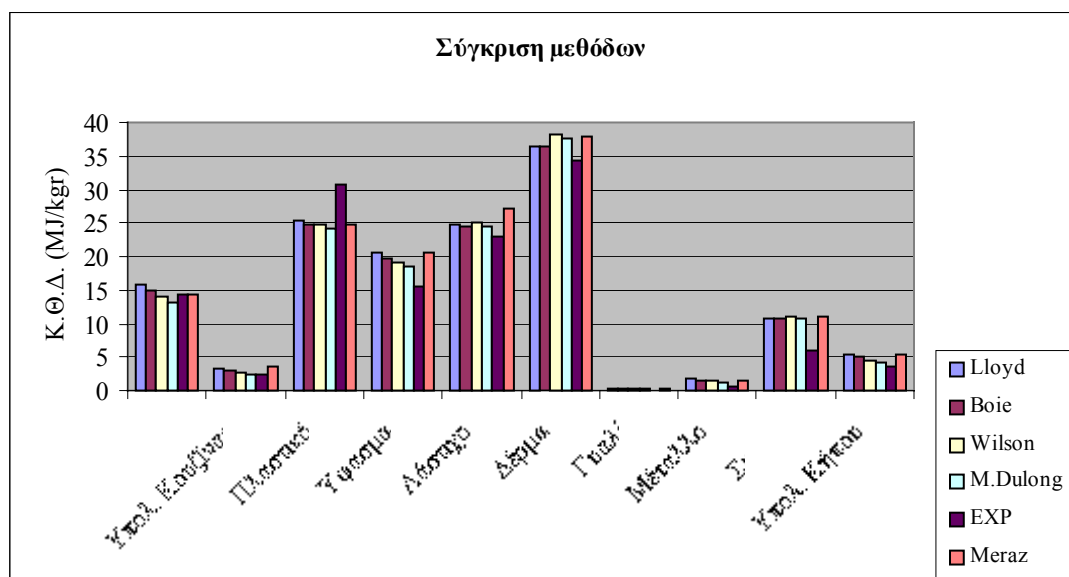
Στη συνέχεια, αφαιρείται και το ποσοστό της στάχτης

$$C_i(\%) = TS_i(\%) - A(\%)$$

Όμοια με την ολική ΑΘΔ η ολική ΚΘΔ των ΑΣΑ θα είναι:

$$LHV = \sum_i f_i LHV_i$$

Το γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζει τις κατώτερες τιμές θερμογόνου δύναμης των υλικών των ΑΣΑ.

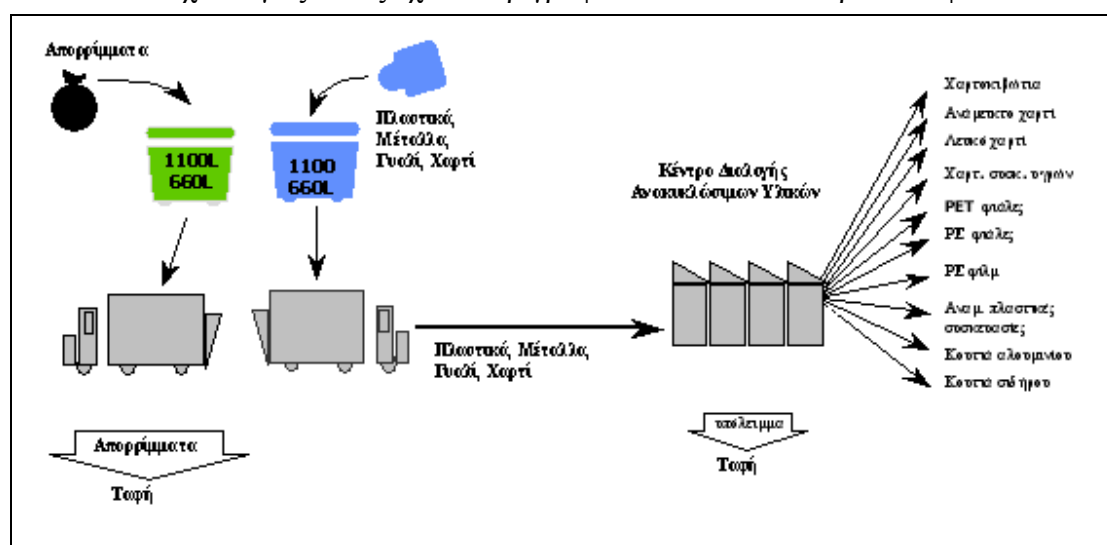


Εικόνα 2.5: Κατώτερες τιμές Θ.Δ. των υλικών των ΑΣΑ ανά μέθοδο

## 2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 2.3.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ

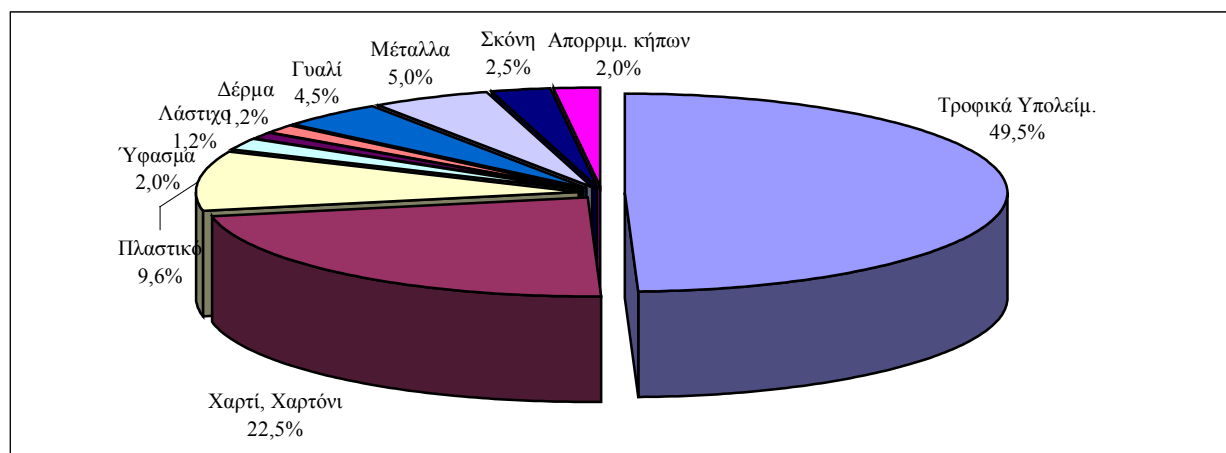
Προκειμένου να γίνουν πιο κατανοητές οι ιδιότητες των απορριμμάτων που προηγήθηκαν αλλά και οι μεθοδολογίες που θα ακολουθηθούν σε επόμενα κεφάλαια για τον υπολογισμό άλλων παραμέτρων που αφορούν τα ΑΣΑ και τη διάθεσή τους μελετώνται στο τέλος του κεφαλαίου τα απορρίμματα όπως θα διατίθονταν σε ένα ΧΥΤΑ, χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, και η περίπτωση κατά την οποία τα απορρίμματα διατίθονταν σε ένα ΧΥΤΥ αφού είχε προηγηθεί ανάκτηση υλικών σε ΚΔΑΥ. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν περιγραφεί συνοπτικά στο πρώτο κεφάλαιο.



Εικόνα 2.6: Υποθετικό διάγραμμα ροής διαχείρισης ΑΣΑ

Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν η εφαρμογή γίνονται αρχικά κάποιες υποθέσεις οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

Έστω πως η σύσταση των απορριμμάτων είναι μια τυπική σύσταση των ΑΣΑ στον ελλαδικό χώρο όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.

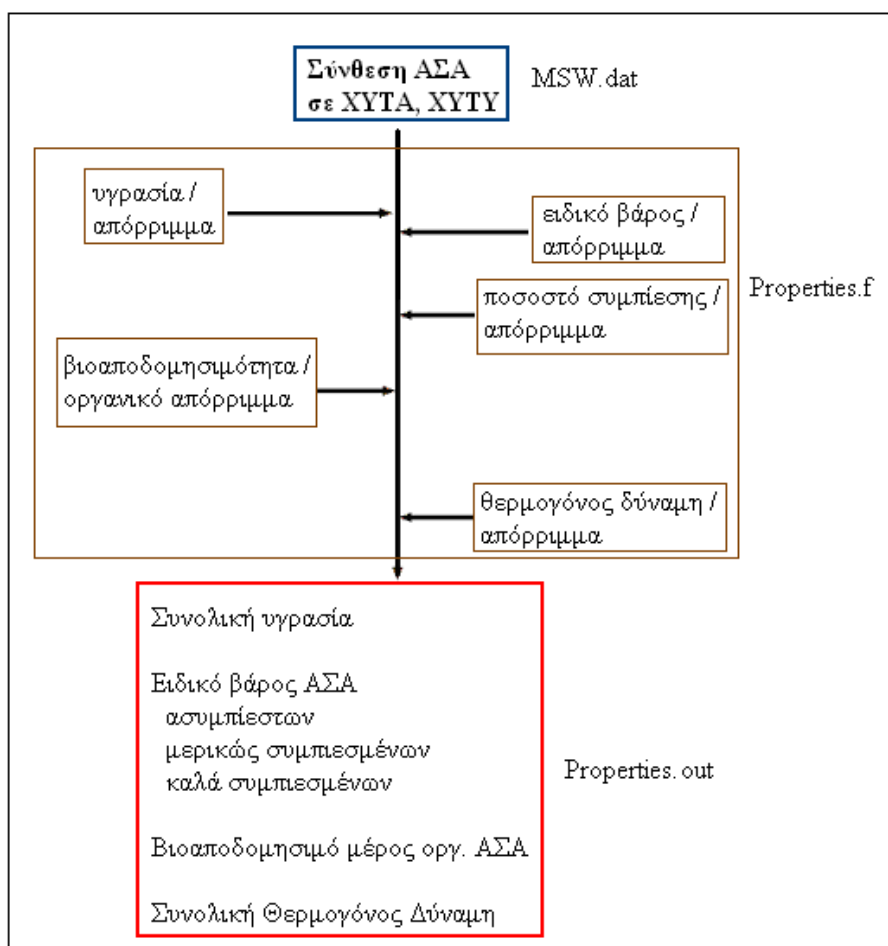


Εικόνα 2.7: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΑ

Το αρχείο εισόδου MSW.dat Στην περίπτωση αυτή θα είναι:

- 49.5
- 22.5
- 9.6
- 2.0
- 1.2
- 1.2
- 4.5
- 5
- 2.5
- 2

όπου ο πρώτος αριθμός είναι τα τροφικά υπολείμματα, ο δεύτερος το χαρτί, ο τρίτος το πλαστικό κοκ όπως φαίνονται στο προηγούμενο διάγραμμα. Η δομή του προγράμματος παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 2.8: Δομή προγράμματος υπολογισμού βασικών ιδιοτήτων ΑΣΑ

Το αρχείο εξόδου στην περίπτωση αυτή θα είναι το properties.out όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

```
*****
TOTAL MOISTURE CONTENT, %
```

```

*****
38.781

*****
BIODEGRADABLE OFMSW, %
*****
53.280

*****
SPECIFIC WEIGHT (KG/M^3)
*****

UNCOMPACTED WASTE
126.305
NORMAL COMPACTED WASTE
465.296
WELL COMPACTED WASTE
576.356

*****
HHV, MJ/KG   KCAL/KG
*****
LLOYD
      11.51   2749.83

BOYE
      11.02   2631.32

WILSON
      10.66   2547.29

MODIFIED DULONG
      10.29   2457.36

LIU TAIWAN
      13.56   3239.47

EXPERIMENTAL ENTHALPY
      10.61   2534.69

MERAH
      11.16   2665.52

GHARARARH
      11.00   2627.50

*****
LHV, MJ/KG   KCAL/KG
*****
LLOYD
      9.23   2203.44

BOYE
      8.73   2084.93

WILSON
      8.38   2000.90

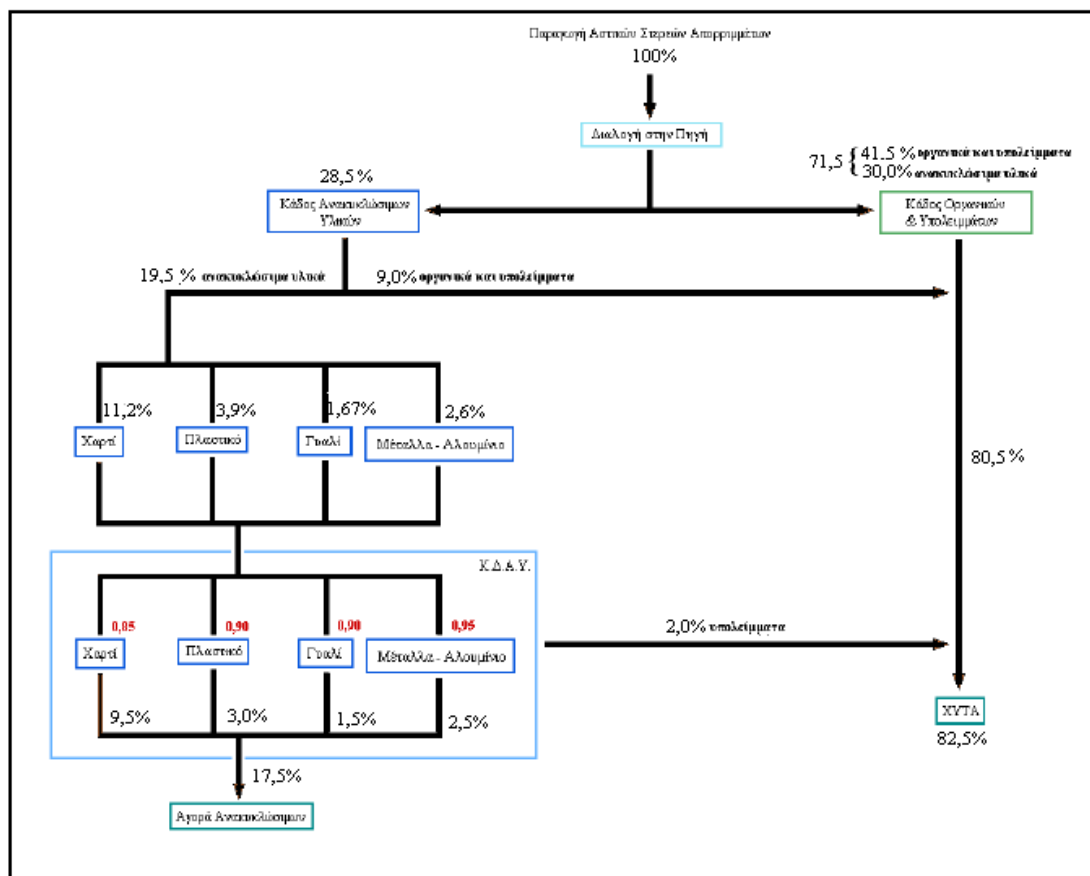
MODIFIED DULONG
      9.23   2203.44

```

EXPERIMENTAL ENTHALPY	8.32	1988.30
MERAZ	8.87	2119.13
G HARARARH	8.71	2081.11

### 2.3.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ

Στο δεύτερο σενάριο εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία τα ΑΣΑ διαχωρίζονται μερικώς σε μια εγκατάσταση ΚΔΑΥ έτσι ώστε να ανακτηθεί μέρος των ανακυκλώσιμων υλικών. Τα ποσοστά αυτά έχουν προκύψει σύμφωνα με το σκεπτικό της [24].

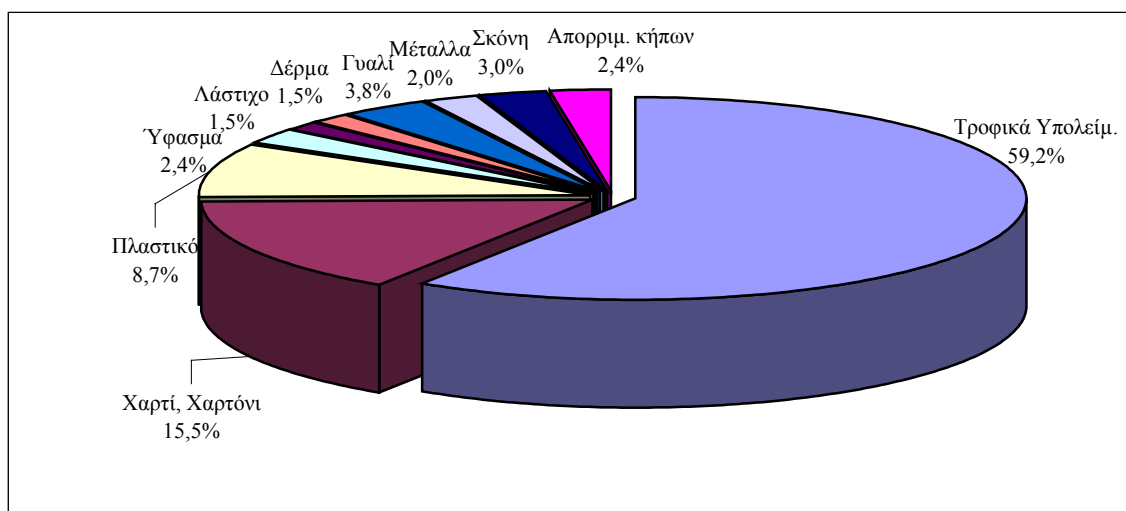


Εικόνα 2.9: Διάγραμμα ροής βάσει των ποσοστών επί της συνολικής ποσότητας απορριμμάτων

Στην περίπτωση λοιπόν που υιοθετηθούν τα ποσοστά του προηγούμενου διαγράμματος προκύπτει η σύσταση των απορριμμάτων μέσα σε ΧΥΤΥ όπως παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2.16: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΥ

Συστατικά	Τιμή, %
Τροφικά Υπολείμ.	59,2
Χαρτί, Χαρτόνι	15,5
Πλαστικά	9,7
Ύφασμα	2,4
Λάστιχο	1,5
Δέρμα	1,5
Γυαλί	3,8
Αλουμίνιο, Μέταλλα	2,0
Άλλα αδρανή (χώμα, τέφρα κτλ)	3,0
Απορριμ. κήπων	2,4
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>



Εικόνα 2.10: Υποθετική σύσταση ΑΣΑ, ΧΥΤΥ

Τα αρχεία εισόδου και εξόδου είναι παρεμφερή (MSW2.dat & properties2.out) και παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι. Συνοπτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακα 2.17: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων properties2.out

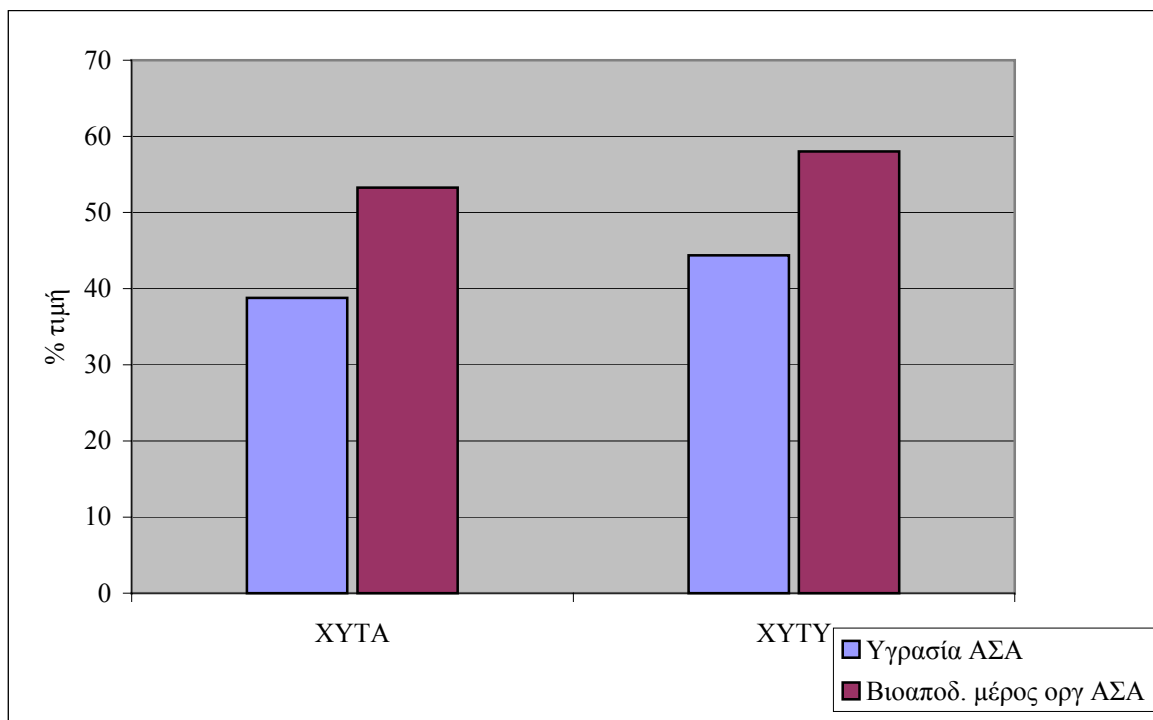
Απορρίμματα σε ΧΥΤΥ		
Ιδιότητες	Μονάδες	Τιμή
Υγρασία ΑΣΑ	%	44,37
Βιοαποδ. μέρος οργανικών ΑΣΑ		58,02

Ειδικό βάρος	kg / m <sup>3</sup>	
-Ασυμπιεστα	kg / m <sup>3</sup>	140,97
-Μερικώς συμπιεσμένα	kg / m <sup>3</sup>	499,70
-Καλά συμπιεσμένα	kg / m <sup>3</sup>	603,91
A.Θ.Δ		
-Lloyd	MJ / kg	11,31
-Boye	MJ / kg	10,85
-Wilson	MJ / kg	10,54
-Modified Dulong	MJ / kg	10,18
-Exp	MJ / kg	10,34
-Meraz	MJ / kg	11,09
-Ghararah	MJ / kg	10,32
K.Θ.Δ		
-Lloyd	MJ / kg	8,79
-Boye	MJ / kg	8,33
-Wilson	MJ / kg	8,02
-Modified Dulong	MJ / kg	8,79
-Exp	MJ / kg	8,32
-Meraz	MJ / kg	8,58
-Ghararah	MJ / kg	7,80

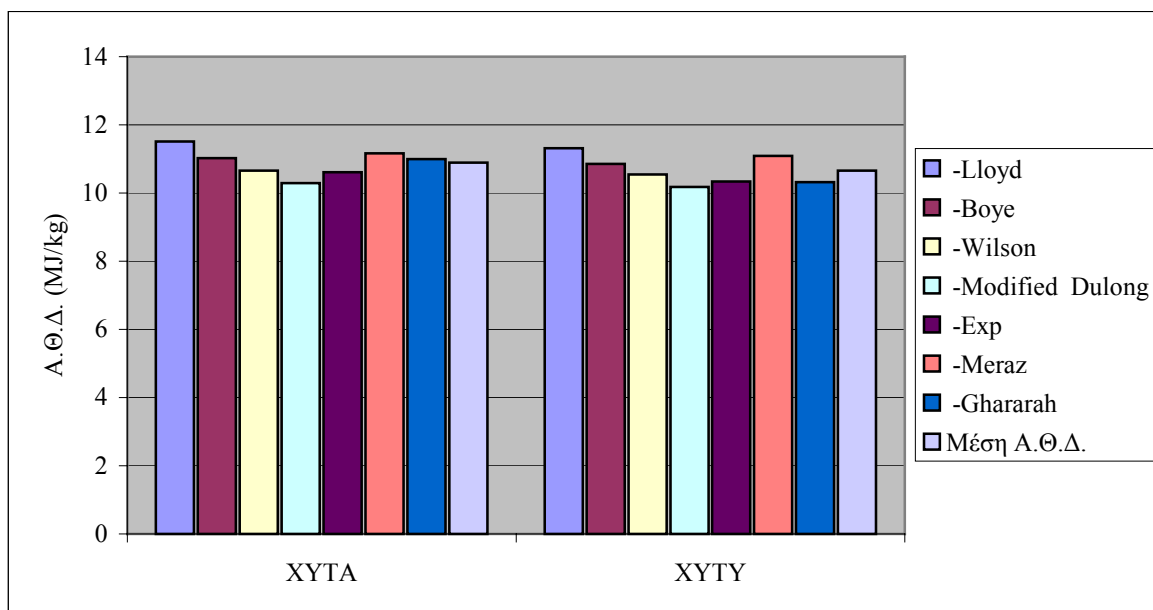
Από τη σύγκριση των τιμών των ιδιοτήτων προκύπτουν τα επόμενα διαγράμματα.



Εικόνα 2.11: Συγκριτικό διάγραμμα ειδικού βάρους XYTA-XYTY

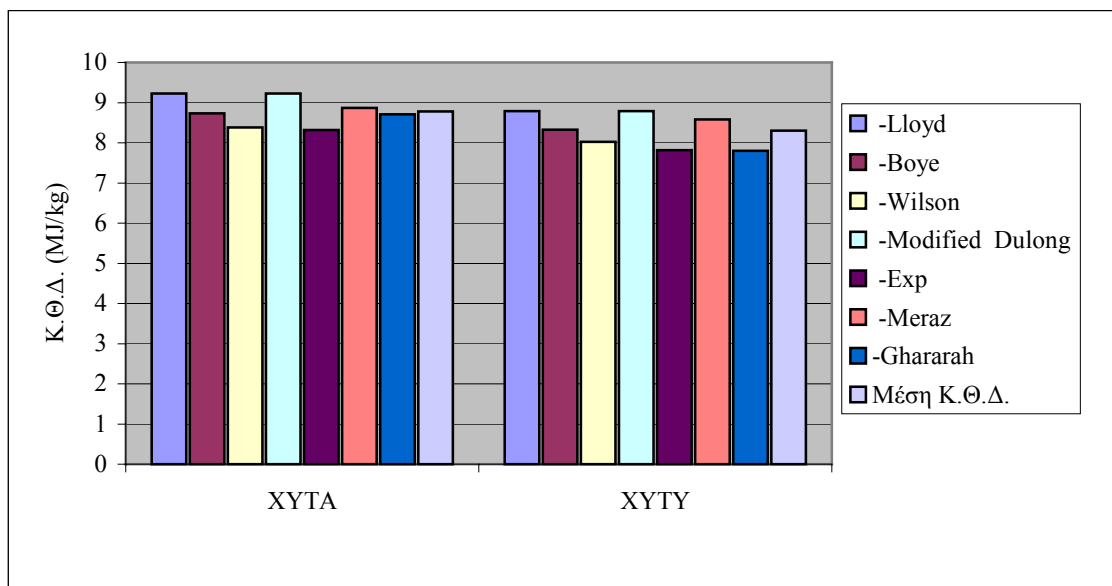


Εικόνα 2.12: Συγκριτικό διάγραμμα υγρασίας, ΟΚΑΣΑ, XYTA, -XYTY



Εικόνα 2.13: Συγκριτικό διάγραμμα ΑΘΔ των ΑΣΑ σε XYTA-XYTY





Εικόνα 2.14: Συγκριτικό διάγραμμα ΚΘΔ των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ-ΧΥΤΥ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιοαποδόμηση των ΑΣΑ οφείλεται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες και παράγει στερεά, υγρά και αέρια προϊόντα τα οποία είναι γνωστά ως βιοαέριο. Η ακριβής εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων είναι εξαιρετικά δύσκολη.[1]

Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία του βιοαερίου, ενώ είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και άοσμο. Το βιοαέριο, είναι εύφλεκτο λόγω της παρουσίας του  $\text{CH}_4$ , και μπορεί να προκαλέσει ασφυξία σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Επιπλέον, μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικά μίγματα στον αέρα όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 5% έως 15%.

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο συστατικό του βιοαερίου είναι βαρύτερο από τον αέρα, άχρωμο και άοσμο.

Οι NMOCs (Non Methane Organic Compounds) βρίσκονται στο βιοαέριο ως ιχνοαέρια, και παράγονται μέσα από φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες ενώ καταλαμβάνουν λιγότερο από 1% του όγκου του βιοαερίου. Η συγκέντρωση ενός τυπικού συστατικού των NMOCs μπορεί να κυμαίνεται από τιμές κάτω από το όριο ανίχνευσης έως και 1780ppm. Η μέση συγκέντρωση των συνολικών NMOCs είναι περίπου 4000 ppm.

Το αέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της αποδόμησης των οργανικών ενώσεων περιέχει υδρατμούς περίπου 4-7%κ.ο. Οι θερμοκρασίες μέσα στα ΑΣΑ είναι συνήθως μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής με συνέπεια την αύξηση της εξάτμισης του νερού μέσα στο βιοαέριο. Το ποσοστό των υδρατμών στο βιοαέριο εξαρτάται από την θερμοκρασία του συστήματος και την πίεση.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια.

- Πυκνότητα

Ένα μίγμα 10% H<sub>2</sub> και 90% CO<sub>2</sub>, το οποίο συναντάται στην πρώτη φάση αποδόμησης των ΑΣΑ, είναι βαρύτερο από τον αέρα, ενώ ένα μίγμα 60% CH<sub>4</sub> και 40% CO<sub>2</sub>, το οποίο συναντάται στη φάση της μεθανογένεσης, είναι ελαφρύτερο του αέρα. Συνήθεις τιμές της πυκνότητας  $d$ , για τα αέρια είναι:

$$d_{\text{CH}_4} = 0,714 \text{ kg / m}^3$$

$$d_{\text{βιοαερίου}} = 1,07 \text{ kg/m}^3$$

- Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του βιοαερίου ποικίλει ανάλογα με το βάθος, τη θέση και τη φάση της αποδόμησης

- Θερμογόνος δύναμη

Τα μίγματα του βιοαερίου έχουν θερμογόνο δύναμη της τάξεως των 18,6MJ/m<sup>3</sup> κατά τη φάση της μεθανογένεσης. Το CH<sub>4</sub> έχει θερμογόνο περίπου 33,8MJ/m<sup>3</sup>.

- Υγρασία

Το ποσοστό της υγρασίας στο βιοαέριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση και έτσι μπορεί να είναι κορεσμένο ή ακόρεστο σε υδρατμούς.

Πίνακας 3.1: Μέση % κ.ο. σύσταση βιοαερίου συναρτήσει του χρόνου [25]

Μήνες μετά την πλήρωση του κυττάρου	Μέση % κατ' όγκο		
	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
0 – 3	5,2	88	5
3 – 6	3,8	76	21
6 – 12	0,4	65	29
12 – 18	1,1	52	40
18 – 24	0,4	53	47
24 – 30	0,2	52	48
30 – 36	1,3	46	51
36 – 42	0,9	50	47
42 - 48	0,4	51	48

Υπάρχει πλήθος υπολογιστικών μοντέλων και συνεχώς ανακλύπτον νέα και πιο αξιόπιστα που βασίζονται σε νέα δεδομένα.

Θεωρητικά, από ένα τόνο ΑΣΑ παράγονται από 120-400 m<sup>3</sup> βιοαερίου ανάλογα με τη σύνθεση τους και τις συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιείται η αποδόμησή τους. Ένας άλλος πρακτικός κανόνας υποδεικνύει ότι ένας ΧΥΤΑ με 106 τόνους ΑΣΑ, που τοποθετήθηκαν σε διάστημα 10 ετών, θα παράγει περίπου 700 m<sup>3</sup>/hr βιοαέριο στο

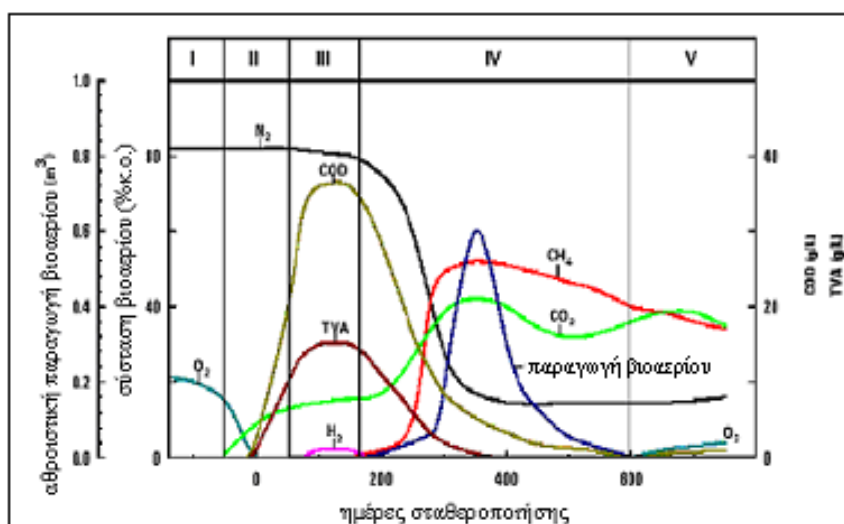
διάστημα μέγιστης παραγωγής, ενώ στα 10 χρόνια, η μέγιστη αυτή παραγωγή μειώνεται στο μισό.

Σπανίως συλλέγεται περισσότερο από το 60% του παραγόμενου βιοαερίου, ενώ σε καλά οργανωμένους, μεγάλους ΧΥΤΑ συνήθως, συλλέγεται το 35%. [14]

## 3.2 ΦΑΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΑΣΑ

### 3.2.1 Φάσεις αερόβιας αποδόμησης

Η πρώτη φάση της αερόβιας αποδόμησης των οργανικών ουσιών είναι γενικά περιορισμένης διάρκειας εξαιτίας της υψηλής απαίτησης σε οξυγόνο των αποβλήτων και της περιορισμένης ύπαρξης οξυγόνου μέσα στο ΧΥΤΑ. Το μόνο στρώμα του ΧΥΤΑ που εμπλέκεται στον αερόβιο μεταβολισμό είναι το ανώτερο όπου το οξυγόνο παγιδεύεται στα νέα απορρίμματα και εφοδιάζεται, σε οξυγόνο, μέσω της υδατικής κατακρήμνισης. Στην φάση αυτή (Φάση I, Εικόνα 3.1) έχει παρατηρηθεί πως οι πρωτεΐνες αποδομούνται σε αμινοξέα και στη συνέχεια σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό, νιτρικά και θειικά, τυπικά προϊόντα καταβολισμού στις αερόβιες διαδικασίες.



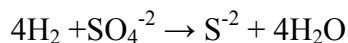
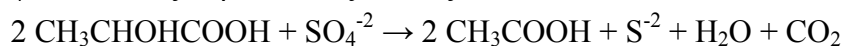
Εικόνα 3.1: Φάσεις αποδόμησης απορριμμάτων [25]

Οι υδρογονάνθρακες μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ τα λίπη σε λιπαρά οξέα και γλυκερίνη και στη συνέχεια αποδομούνται περαιτέρω σε περισσότερο απλά προϊόντα καταβολισμού μέσω ενδιάμεσου σχηματισμού πτητικών οξέων και οργανικών. Η κυτταρίνη που αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του οργανικού υλικού των ΑΣΑ αποδομείται μέσω εξωκυτταρικών ενζύμων σε γλυκόζη που χρησιμοποιείται στη συνέχεια από βακτήρια και μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Σε παλαιούς ΧΥΤΑ όταν έχει παραμείνει μόνο το ανθεκτικό τμήμα του οργανικού άνθρακα στα απόβλητα που έχουν αποθεθεί μια δεύτερη αερόβια φάση λαμβάνει χώρα στο ανώτερο τμήμα του ΧΥΤΑ. Στην φάση αυτή (Φάση V) ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου είναι χαμηλός και ο αέρας αρχίζει να διαχέεται από την ατμόσφαιρα δίνοντας τη δυνατότητα ανάπτυξης αερόβιων ζωνών και ζωνών με οξειδοαναγωγικό δυναμικό πολύ υψηλό για το σχηματισμό μεθανίου.

### 3.2.2 Φάσεις αναερόβιας αποδόμησης

Τρεις διαφορετικές φάσεις μπορούν να αναγνωρισθούν στην αναερόβια αποδόμηση των απορριμμάτων. Η πρώτη φάση (Φάση II) της αναερόβιας αποδόμησης είναι η ζύμωση των οξέων που προκαλεί μια μείωση στο pH των στραγγισμάτων, υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών οξέων και αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις ανόργανων ιόντων (για παράδειγμα  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ). Η αρχικά υψηλή συγκέντρωση των θεικών πιθανόν να αρχίσει σταδιακά να μειώνεται καθώς το οξειδοαναγωγικό δυναμικό μειώνεται. Τα σουλφίδια που παράγονται μπορούν να κατακρημνίσουν το σίδηρο, το μαγγάνιο και τα βαρέα μέταλλα που διαλύθηκαν κατά την όξινη ζύμωση. Η μείωση στο pH προκαλείται από την υψηλή παραγωγή των λιπαρών πτητικών οξέων και την υψηλή μερική πίεση  $\text{CO}_2$ . Η αυξανόμενη συγκέντρωση των ανιόντων και των κατιόντων οφείλεται στην πλύση του εύκολα διαλυτού υλικού που ήταν αρχικά διαθέσιμο στην μάζα των αποβλήτων και αυτού που προέκυψε από την αποδόμηση των οργανικών ουσιών. Οι αρχικές αναερόβιες διαδικασίες οφείλονται στον πληθυσμό των αναερόβιων μικροβίων που αποτελείται από τα αυστηρά αναερόβια βακτήρια και αυτά που κάτω από αυτές τις συνθήκες συμπεριφέρονται ως αναερόβια. Η δεύτερη κατηγορία βακτηρίων συμμετέχει στην αποδόμηση των υλικών και μειώνει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό έτσι ώστε να μπορούν να αυξηθούν τα μεθανογόνα βακτήρια. Τα τελευταία είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στο οξυγόνο και απαιτούν οξειδοαναγωγικό δυναμικό μικρότερο των 330mV ώστε να επιτελέσουν τη λειτουργία τους. Στις αναερόβιες συνθήκες, τα νιτρικά και τα θειικά ιόντα, που μπορούν να δράσουν σα δέκτες ηλεκτρονίων (Πίνακας 3.2) στις βιολογικές αντιδράσεις μετατροπής, συχνά ανάγονται σε αέριο άζωτο και υδρόθειο, όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις:

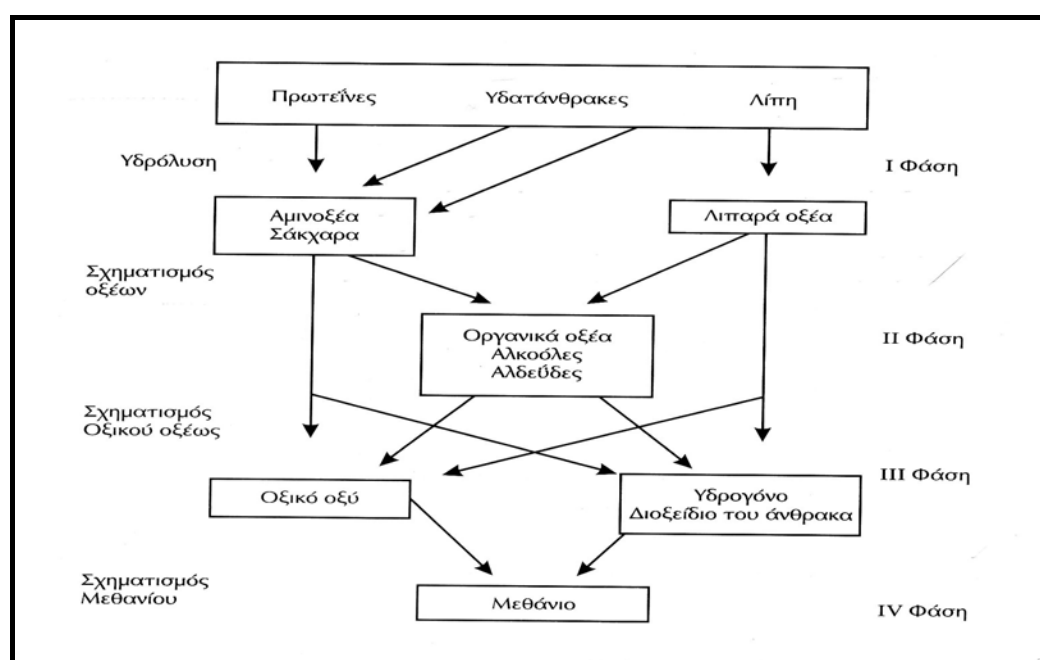


Πίνακας 3.2: Τυπικοί δέκτες ηλεκτρονίων στις βιολογικές αντιδράσεις [1]

Περιβάλλον	Δέκτες ηλεκτρονίων	Διαδικασία
Αερόβιο	$\text{O}_2$	Αερόβιος μεταβολισμός

Αναερόβιο	$\text{NO}_3^-$	Απονιτροποίηση
	$\text{SO}_4^{-2}$	Μείωση Θεικών
	$\text{CO}_2$	Μεθανογένεση

Το απαιτούμενο δυναμικό οξειδοαναγωγής για αυτές τις αντιδράσεις είναι -50 έως -100 mV, ενώ για την παραγωγή μεθανίου απαιτείται δυναμικό οξειδοαναγωγής -150 έως -300 mV. Η μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής, έχει σαν αποτέλεσμα οι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή του οργανικού υλικού των ΑΣΑ σε  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$  να ξεκινούν μια διαδικασία τριών σταδίων, με την μετατροπή του σύνθετου οργανικού υλικού σε οργανικά οξέα και άλλα ενδιάμεσα προϊόντα. Το pH των στραγγισμάτων ελαττώνεται, λόγω της έντονης παρουσίας  $\text{CO}_2$ . [10]



Εικόνα 3.2: Παραγωγή  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$  από αναερόβια ζύμωση ΟΚΑΣΑ [5]

Η δεύτερη φάση (φάση II), ξεκινά με την αργή ανάπτυξη των μεθανογόνων βακτηρίων. Η ανάπτυξη αυτή είναι πιθανόν να εμποδιστεί από την υπερβολική αύξηση των οργανικών πτητικών οξέων που είναι τοξικά για τα μεθανογόνα βακτήρια σε συγκεντρώσεις 6000-16000 mg/L. Η συγκέντρωση του μεθανίου στο βιοαέριο αυξάνει ενώ το υδρογόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και τα λιπαρά πτητικά οξέα μειώνονται. Παράλληλα, η συγκέντρωση των θεικών μειώνεται εξαιτίας της βιολογικής αναγωγής. Η μετατροπή των λιπαρών οξέων προκαλεί αύξηση στις τιμές του pH και στην αλκαλικότητα με επακόλουθη μείωση στη διαλυτότητα του ασβεστίου, του σιδήρου, του μαγγάνιου και των βαρέων μετάλλων. Τα τελευταία κατακρημνίζονται πιθανώς ως σουλφίδια.

Η τρίτη φάση (φάση IV) της αναερόβιας αποδόμησης χαρακτηρίζεται από την μεθανογένεση από τα μεθανογόνα βακτήρια. Η περιοχή του pH μέσα στην οποία επιζούν τα βακτήρια είναι εξαιρετικά περιορισμένη και κυμαίνεται από 6 έως 8. Σε αυτό το στάδιο, τα στραγγίσματα χαρακτηρίζονται από περίπου ουδέτερες τιμές pH, χαμηλές συγκεντρώσεις πτητικών οξέων και ολικών διαλυμένων στερεών ενώ το βιοαέριο παρουσιάζει περιεκτικότητα σε μεθάνιο που είναι γενικά υψηλότερη του 50%. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η διαλυτότητα της πλειοψηφίας των οργανικών συστατικών έχει μειωθεί σε αυτό το στάδιο της λειτουργίας του ΧΥΤΑ, αν και η διαδικασία της σταθεροποίησης των αποβλήτων θα συνεχιστεί για αρκετά έτη.

Ο επόμενος πίνακας αναφέρει κάποιες παραμέτρους σύμφωνα με τις οποίες μπορεί να ανιχνευθεί ο βαθμός σταθεροποίησης στον οποίο βρίσκονται τα απόβλητα στο ΧΥΤΑ.

Πίνακας 3.3: Παράμετροι ανίχνευσης βαθμού σταθεροποίησης ΑΣΑ

Παράμετρος	Δείκτης
<b>Φυσικές</b>	
pH	Όξινο –βασικό / Δείκτης φάσης σταθεροποίησης
ORP	Οξειδωση-αναγωγή / Δείκτης φάσης σταθεροποίησης
Αγωγιμότητα	Ιοντική Ισχύς / Δείκτης δραστηκότητας
Θερμοκρασία	Δείκτης αντίδρασης
<b>Χημικές</b>	
COD, TOC, TVA, TKN, NH <sub>3</sub> -N, PO <sub>4</sub> _P	Δείκτης υποστρώματος
SO <sub>4</sub> /S, NO <sub>3</sub> -NH <sub>3</sub>	Δείκτες θρεπτικών
TS	Αραίωση/ Δείκτης κινητικότητας
ολική αλκαλικότητα	Δείκτης ρυθμιστικής ικανότητας
Βαρέα Μέταλλα	Τοξικότητα/ Δείκτης περιβαλλοντικής επιρροής
<b>Βιολογικές</b>	
BOD <sub>5</sub>	Υπόστρωμα/ Δείκτης βιοαποδομησιμότητας
Ολικά κολοβακτηρίδια	Δείκτης επιρροής υγείας
Στρεπτόκοκκοι	Δείκτης επιρροής υγείας
Ιοί	Δείκτης επιρροής υγείας

Η παραγωγή του βιοαερίου επιβραδύνεται αν η υγρασία δεν είναι αρκετή. Όταν αυξάνεται η πυκνότητα των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ μειώνεται η πιθανότητα η υγρασία να φτάσει σε όλα τα σημεία και γι' αυτό το λόγο μειώνεται ο ρυθμός βιομετατροπής και παραγωγής αερίου.

### 3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

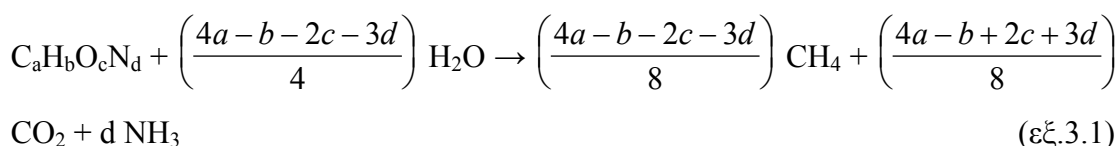
Η εκτίμηση των εκπομπών είναι αρκετά αβέβαιη εξαιτίας της πολυπλοκότητας των μηχανισμών που εξελίσσονται μέσα στο ΧΥΤΑ με αποτέλεσμα οι υπάρχουσες μέθοδοι να δίνουν σημαντικά διαφοροποιημένα αποτελέσματα.

Η αντίδραση παραγωγής του βιοαερίου για την αναερόβια αποδόμηση των ΑΣΑ είναι η εξής:



Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω αντίδραση θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμη υγρασία διαφορετικά ακόμα και τα θεωρητικά εύκολα βιοαποδομήσιμα υλικά είναι αδύνατον να διασπαστούν.

Στην περίπτωση που τα ΑΣΑ μπορούν να περιγραφούν από τον τύπο  $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$  ο συνολικός όγκος του βιοαερίου μπορεί να υπολογιστεί άμεσα από τη σχέση που ακολουθεί υποθέτοντας πλήρη μετατροπή του βιοαποδομήσιμου τμήματος των ΑΣΑ σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{CH}_4$ .



#### 3.3.1 LandGEM

Η EPA προτείνει τη χρήση του μοντέλου ‘LandGEM’ (Landfill Gas Emissions Model). [25]

Η βασική εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$Q_{t\text{CH}_4} = L_o \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (\text{εξ.3.2})$$

όπου:

$Q_{\text{CH}_4}$ : παραγωγή βιοαερίου το έτος  $t$ ,  $\text{m}^3/\text{yr}$

$L_o$ : θεωρητική παραγωγή βιοαερίου,  $\text{m}^3/\text{kg}$  ΑΣΑ

$R$ : ρυθμός διάθεσης των ΑΣΑ,  $\text{kg}/\text{yr}$

$t$ : έτη από την έναρξη λειτουργίας του χώρου,  $\text{yr}$

$c$ : έτη μετά την παύση λειτουργίας του ΧΥΤΑ,  $\text{yr}$

$k$ : ρυθμός παραγωγής βιοαερίου,  $\text{yr}^{-1}$

#### 3.3.2 Μοντέλο Tabasaran

Το μοντέλο περιγράφεται από την εξίσωση:

$$G_i = G_o \cdot (1 - e^{-ka}) \quad (\text{εξ.3.3})$$

όπου:

$G_i$ : ειδική παραγωγή βιοαερίου το έτος  $i$ ,  $\text{m}^3/\text{tn}$  ΑΣΑ/ $\text{yr}$



$G_o$ : συνολική ειδική παραγωγή βιοαερίου,  $m^3/tn$  ΑΣΑ

$k$ : σταθερά αποδόμησης,  $yr^{-1}$

$i$ : έτος αναφοράς,  $yr$

Η ειδική παραγωγή βιοαερίου δίνεται από τη σχέση:

$$G_o = 1,868 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot T + 0,28)$$

όπου:

$C_o$ : ποσοστό βιοαπομήσιμου άνθρακα στα ΑΣΑ,  $kg$  C/ $tn$  ΑΣΑ

$T$ : θερμοκρασία,  $^{\circ}C$

Τελικά η εξίσωση παραγωγής βιοαερίου θα έχει την παρακάτω μορφή:

$$G_a = 1,868 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot T + 0,28) \cdot (1 - e^{-ka}) \quad (\text{εξ.3.4})$$

### 3.3.3 Μεθοδολογία IPCC

Βασίζεται στη θεωρητική παραγωγή μεθανίου. Η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη την παράμετρο του χρόνου στη διάθεση των ΑΣΑ και τις διεργασίες αποδόμησης. [26] Υποθέτει πως όλη η ποσότητα  $CH_4$  απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια απόθεσης των ΑΣΑ, γεγονός ωστόσο που δεν ισχύει. Οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι λογικές στην περίπτωση που οι ετήσιες ποσότητες, η σύνθεση των ΑΣΑ και ο τρόπος διάθεσής τους παραμένουν αμετάβλητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. [27]

Η μέθοδος βασίζεται στην εξίσωση:

$$CH_4 \text{ (Gg/yr)} = (MSW_T \cdot MSW_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 - R) \cdot (1 - OX) \quad (\text{εξ.3.5})$$

όπου:

$MSW_T$ : συνολική ποσότητα των παραγόμενων ΑΣΑ,  $Gg/yr$

$MSW_F$ : κλάσμα των ΑΣΑ που καταλήγει σε χώρους διάθεσης,

$MCF$ : συντελεστής διόρθωσης  $CH_4$ ,

$DOC$ : κλάσμα αποδομήσιμου οργανικού άνθρακα,  $kg$  C/ $kg$  ΑΣΑ

$DOC_F$ : το κλάσμα του  $DOC$  που γίνεται τελικά μεθάνιο,

$F$ : κλάσμα του μεθανίου στο βιοαέριο,

$OX$ : κλάσμα του μεθανίου που οξειδώνεται,

$R$ : ανακτώμενο  $CH_4$  ( $Gg/yr$ ).

Οι τιμές των παραμέτρων  $MSW_T$  και  $MSW_F$  σύμφωνα με το IPCC δίνονται από τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3.4: Τιμές διαφόρων παραμέτρων σύμφωνα με IPCC [26]

Χώρα	Ρυθμός παραγωγής ΑΣΑ ( $kg/$ κάτοικο/ $ημέρα$ )	Κλάσμα των ΑΣΑ που καταλήγει σε χώρους διάθεσης	Κλάσμα του $DOC$ στα ΑΣΑ	Ρυθμός απόθεσης ΑΣΑ ( $kg/$ κάτοικο/ $ημέρα$ )
------	---	---	--------------------------	--

Η.Π.Α.	2	0,62	0,18 – 0,21	1,24
Καναδάς	1,81	0,75		1,35
Αυστραλία	1,26	1	0,15	1,26
Νέα Ζηλανδία	1,33	1	0,19	1,33
Ηνωμένο Βασίλειο	1,9	0,9	0,1	1,7
Ιρλανδία	0,85	1		0,85
Αυστρία	0,92	0,4		0,36
Βέλγιο	1,1	0,43		0,47
Δανία	1,26	0,2		0,25
Φιλανδία	1,7	0,77		1,3
Γαλλία	1,29	0,46		0,6
Γερμανία	0,99	0,66		0,65
Ελλάδα	0,85	0,93		0,79
Ιταλία	0,94	0,88		0,83
Λουξεμβούργο	1,34	0,35		0,47
Ολλανδία	1,58	0,67	0,14	1,06
Νορβηγία	1,4	0,75		1,05
Πορτογαλία	0,9	0,86		0,78
Ισπανία	0,99	0,85		0,83
Σουηδία	1,01	0,23		0,25
Ελβετία	1,1	0,23		0,25
Πολωνία			0,15	0,54
Ρωσία	0,93	0,94	0,17	0,87
Ιαπωνία	1,12	0,38		0,43
Ινδία	0,33	0,6	0,18	0,2
Κίνα			0,09	0,84
Ινδονησία			0,17	0,51
Βραζιλία			0,12	1,47
Αίγυπτος			0,21	0,4
Νιγηρία			0,11	0,4

DOC : μπορεί να ληφθεί απ' ευθείας από τον προηγούμενο πίνακα ή να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$\text{DOC (\%)} = 0,4(A) + 0,17(B) + 0,15(C) + 0,3(D) \quad (\text{εξ.3.6})$$

όπου:

A : ποσοστό των χαρτιών και των υφασμάτων στα ΑΣΑ,

B: ποσοστό των απορριμμάτων κήπου και άλλων οργανικών που αποσυντίθενται (δέρμα), εκτός από τα τροφικά υπολείμματα, στα ΑΣΑ,

C : ποσοστό των τροφικών υπολειμμάτων στα ΑΣΑ,

D : ποσοστό του ξύλου στα ΑΣΑ,

MCF: προτείνονται τιμές από 0,4 – 1, ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης του χώρου διάθεσης (γενική τιμή 0,6).

Οι σύγχρονοι ΧΥΤΑ χαρακτηρίζονται από σχετικά ευνοϊκές συνθήκες για αναερόβια αποδόμηση. Πιο συγκεκριμένα:

- μεγάλο βάθος ταφής,
- έλεγχος της ποσότητας και της σύστασης των εισερχομένων ΑΣΑ,
- υψηλή συμπίεση με ειδικά μηχανήματα,
- σωστά σχεδιασμένα συστήματα συλλογής στραγγισμάτων και όμβριων υδάτων,
- συχνή επικάλυψη με χώμα,
- εγκατάσταση συστήματος συλλογής, ελέγχου και ανάκτησης του βιοαερίου.

Ωστόσο στους ανεξέλεγκτους ή ημιελεγχόμενους χώρους ταφής των ΑΣΑ, ευνοείται η αερόβια αποδόμηση εξαιτίας των:

- των μικρών βαθών ταφής,
- της περιορισμένης κάλυψη της επιφάνειας,
- της μικρής συμπίεση των ΑΣΑ,
- της αναμόχλευσης των ΑΣΑ από ζώα,
- των συχνών πυρκαγιών, με στόχο την μείωση του όγκου των απορριμμάτων.

Οι πραγματικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα ΧΥΤΑ βρίσκονται κάπου ανάμεσα στους δύο παραπάνω τρόπους διάθεσης. Το IPCC προτείνει τις παρακάτω τιμές για τον συντελεστή MCF.

Πίνακας 3.5: Τιμές της παραμέτρου MCF, ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης [25]

Τρόπος διάθεσης ΑΣΑ	MCF
Ελεγχόμενοι χώροι	1
Μη ελεγχόμενοι – βάθος > 5 m	0,8
Μη ελεγχόμενοι – βάθος < 5 m	0,4
Μη καθορισμένοι χώροι	0,6

Πίνακας 3.6: Τιμές της παραμέτρου DOC σε σχέση με τα A, B, C, D [27]

Κλάσμα ΑΣΑ	DOC (% κατά βάρος)
A. Χαρτί και ύφασμα	40
B. Απορρίμματα κήπου	17
C. Τροφικά υπολείμματα	15
D. Ξύλο	30

$DOC_F$  : από την εξίσωση Tabassaran:

$$DOC_F = 0,014 \cdot T + 0,28 \quad (\text{εξ.3.7})$$

όπου T η θερμοκρασία των ΑΣΑ.

Το IPCC προτείνει μια μέση τιμή της τάξης του 0,5 για την παράμετρο αυτή. Ωστόσο δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο σε ποιο βαθμό η θερμοκρασία στην αναερόβια ζώνη επηρεάζει το ποσοστό του DOC που μετατρέπεται σε μεθάνιο, κατά την αποδόμηση.

F: προτείνεται η τιμή 0,5, δηλαδή θεωρείται ότι το βιοαέριο αποτελείται από 50% CH<sub>4</sub> και 50% CO<sub>2</sub>.

OX : προτείνεται η τιμή 0 αν και πειράματα επί τόπου δείχνουν την ύπαρξη του φαινομένου της οξειδωσης, ωστόσο τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν σταθερότητα.

Παράλληλα, μια άλλη εξίσωση που προτείνει το IPCC για την παραγωγή του μεθανίου είναι η επόμενη:

$$CH_4(t) = [Q_t - R_t] \cdot [1 - OX] \quad (\text{εξ.3.10})$$

Το Q<sub>t</sub> δίνεται από τη σχέση:

$$Q_t = \sum \left[ \left( A \cdot k \cdot MSW_{T(x)} \cdot MSW_{F(x)} \cdot L_{o(x)} \right) \cdot e^{-k(t-x)} \right] \quad (\text{εξ.3.11})$$

όπου:

Q<sub>t</sub>: παραγωγή CH<sub>4</sub> το έτος t, Gg/yr

x: έτη για τα οποία προστίθενται τα δεδομένα, yr

k: σταθερά του ρυθμού παραγωγής CH<sub>4</sub>, yr<sup>-1</sup>

MSW<sub>T(x)</sub>: συνολική ποσότητα των παραγόμενων ΑΣΑ το έτος x, Gg/yr

MSW<sub>F(x)</sub>: κλάσμα των ΑΣΑ που καταλήγει σε χώρους διάθεσης το έτος x

L<sub>o(x)</sub>: ειδική παραγωγή CH<sub>4</sub> (=MCF<sub>(x)</sub> · DOC<sub>(x)</sub> · DOC<sub>F</sub> · F · 16/12)

MCF<sub>(x)</sub>: συντελεστής διόρθωσης CH<sub>4</sub>

DOC<sub>(x)</sub>: κλάσμα του αποδομήσιμου οργανικού C, kg C/kg ΑΣΑ

F: κλάσμα του μεθανίου στο βιοαέριο

R<sub>(t)</sub>: ανάκτηση CH<sub>4</sub> το έτος t, Gg/yr

OX: παράγοντας οξειδωσης

Για τον υπολογισμό της παραμέτρου k, προτείνεται η σχέση:

$$k = \ln(2)/t_{1/2} \quad (\text{εξ.3.12})$$

όπου t<sub>1/2</sub> είναι ο χρόνος για να ολοκληρωθεί το 50% της αποδόμησης. Ο χρόνος αυτός κυμαίνεται συνήθως από 4 έως 10 έτη. Ωστόσο η αποδόμηση γίνεται με διαφορετικό ρυθμό για κάθε κλάσμα απορριμμάτων. Έτσι, τα τροφικά υπολείμματα αποδομούνται πολύ γρήγορα, ενώ υλικά όπως το χαρτί και το ξύλο αποδομούνται με πολύ πιο αργό ρυθμό. Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμα δεδομένα για τα κλάσματα των ΑΣΑ είναι δυνατόν να υπολογιστεί ένας συνολικός χρόνος ημιζωής διαφορετικά χρησιμοποιούνται τιμές από τη βιβλιογραφία, ανάλογα με το κλίμα και τη σύσταση των ΑΣΑ. [28]

### 3.4.5 Τριγωνικό μοντέλο

Ο ρυθμός αποδόμησης φτάνει συνήθως στο μέγιστο μέσα στα πρώτα δύο χρόνια και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά, συνεχίζοντας σε πολλές περιπτώσεις για 25 ή περισσότερα έτη.

Τα οργανικά υλικά στα ΑΣΑ είναι δυνατόν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες:

- i) τα υλικά που αποδομούνται γρήγορα (από 3 μήνες έως 5 χρόνια) και
- ii) τα υλικά που αποδομούνται αργά (μέχρι και 25 έτη).

Πίνακας 3.7: Γρήγορα και αργά βιοδιασπάσιμα συστατικά των ΑΣΑ [11]

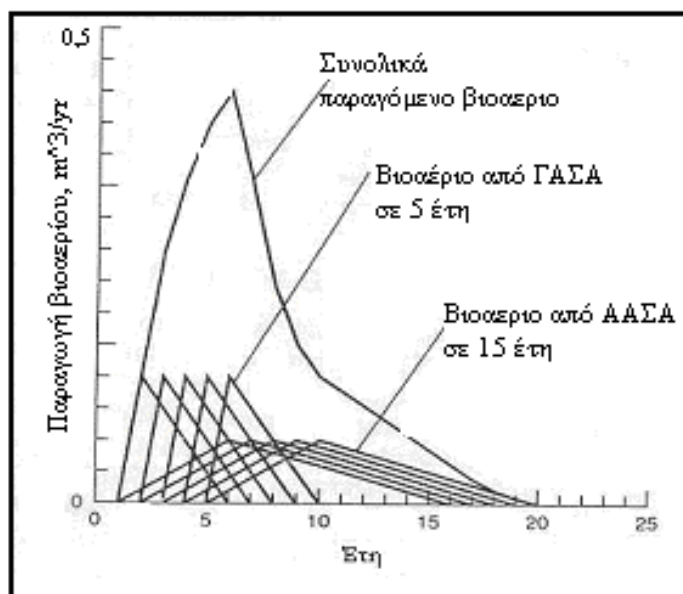
ΟΚΑΣΑ	ΓΑΣΑ	ΛΑΣΑ
Τρόφιμα	✓	
Εφημερίδες	✓	
Χαρτί γραφείου	✓	
Χαρτόνι	✓	
Ύφασμα		✓
Λάστιχο		✓
Δέρμα		✓
Απορρίμ. κήπου	✓*	
Ξύλο		✓

\* Περίπου 60% θεωρούνται ΓΑΣΑ

Η διακύμανση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου από την αναερόβια αποδόμηση των γρήγορα και αργά βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών των ΑΣΑ, μπορεί να μοντελοποιηθεί όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3. Οι ετήσιοι ρυθμοί αποδόμησης για γρήγορα και αργά βιοδιασπάσιμα υλικά βασίζονται σε ένα τριγωνικό μοντέλο, στο οποίο η μέγιστη τιμή του ρυθμού παραγωγής επέρχεται σε ένα και πέντε χρόνια, αντίστοιχα, από την αρχή παραγωγής. Η παραγωγή βιοαερίου υποθέτεται ότι ξεκινά στο τέλος του πρώτου ολοκληρωμένου έτους λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Η συνολική ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου από τα ΑΣΑ που τοποθετήθηκαν τον πρώτο χρόνο της λειτουργίας ισούται με:

συνολικά παραγόμενο βιοαέριο,  $m^3/kg =$

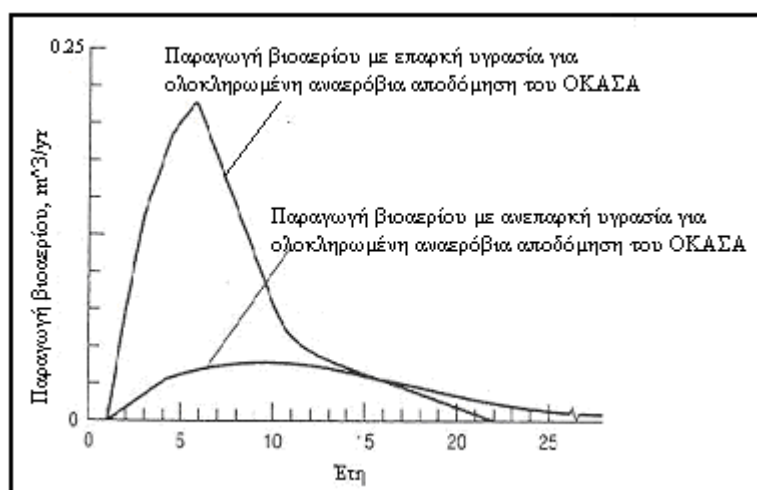
$\frac{1}{2} (\text{base, yr}) \cdot (\text{ύψος, μέγιστος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου, } m^3/kg \text{ yr})$



Εικόνα 3.3: Παραγωγή βιοαερίου για περίοδο 5 ετών, από ΓΑΣΑ και ΑΑΣΑ [11]

Ο συνολικός ρυθμός παραγωγής βιοαερίου από ΧΥΤΑ στον οποίο τα ΑΣΑ έχουν τοποθετηθεί για περίοδο 5 χρόνων προσδιορίζεται, αθροίζοντας το παραγόμενο βιοαέριο από τα γρήγορα και αργά βιοαποδομήσιμα υλικά των ΑΣΑ που τοποθετούνται κάθε χρόνο.

Συνήθως στους ΧΥΤΑ η διαθέσιμη υγρασία είναι ανεπαρκής για να πραγματοποιηθεί πλήρης μετατροπή των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών των ΑΣΑ. Η βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία για την μετατροπή του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος, είναι 50-60%. Ωστόσο, σε πολλούς ΧΥΤΑ, η υπάρχουσα υγρασία δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη. Όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι περιορισμένη, η καμπύλη της παραγωγής βιοαερίου είναι πιο ευθύγραμμη και εκτείνεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. [11]



Εικόνα 3.4: Επίδραση μειωμένης υγρασίας στην παραγωγή βιοαερίου [11]

### 3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Βάσει της ανάλυσης που έγινε στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο θα γίνει εκτίμηση της χημικής σύστασης των ΑΣΑ και της ποσότητας του βιοαερίου που μπορεί να παραχθεί από το οργανικό μέρος των ΑΣΑ.

#### 3.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ

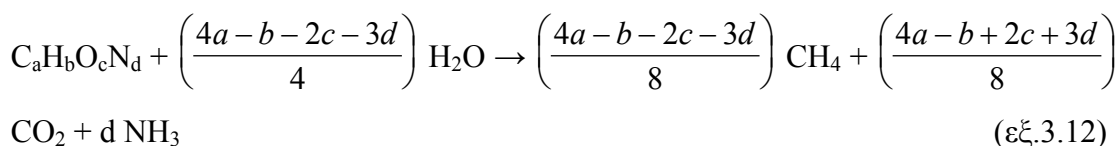
Προκειμένου να εφαρμοστούν τα δύο σενάρια τα οποία περιγράφηκαν πριν θα πρέπει να γίνουν επιπλέον κάποιες υποθέσεις. Έστω λοιπόν πως ο εξυπηρετούμενος από το ΧΥΤΑ πληθυσμός στην 1<sup>η</sup> περίπτωση και από το ΚΔΑΥ και ΧΥΤΥ στη 2<sup>η</sup> είναι 70.000 και παράγουν απορρίμματα που αντιστοιχούν σε 1kg/κατ./ημέρα

Πίνακας 3.8 Στοιχειακή ανάλυση αποδομήσιμων υλικών

Συστατικά	Τιμή kg	Υγρασία kg	Ξηρό Βάρος	C	H	O	N
<b>Γρήγορα αποδομήσιμα οργανικά</b>							
Τροφικά Υπολείμ.	49,5	70	14,85	7,13	0,94	5,64	0,39
Χαρτί	22,5	5	21,37	9,29	1,28	9,40	0,06
Απορριμ. κήπου	1,2	50	0,60	0,29	0,04	0,23	0,02
<b>Σύνολο</b>	<b>73,2</b>		<b>36,82</b>	<b>16,71</b>	<b>2,26</b>	<b>15,27</b>	<b>0,47</b>
<b>Αργά αποδομήσιμα οργανικά</b>							
Υφασμα	2,0	10	1,80	0,99	0,12	0,56	0,08
Λάστιχο	1,2	2	1,18	0,92	0,12	0	0,02
Δέρμα	1,2	10	1,08	0,65	0,08	0,13	0,11
Απορριμ. κήπου	0,8	50	0,4	0,19	0,02	0,15	0,01
<b>Σύνολο</b>	<b>5,2</b>		<b>4,46</b>	<b>2,75</b>	<b>0,34</b>	<b>0,84</b>	<b>0,22</b>

Γνωρίζοντας τα Α.Β. των C, H, O, N λαμβάνονται τα moles των γρήγορα και των αργά βιοαποδομήσιμων υλικών και στη συνέχεια προκύπτει ένας χημικός τύπος της μορφής  $C_a H_b O_c N_d$  που αντιπροσωπεύει καθεμιά από τις δύο κατηγορίες.

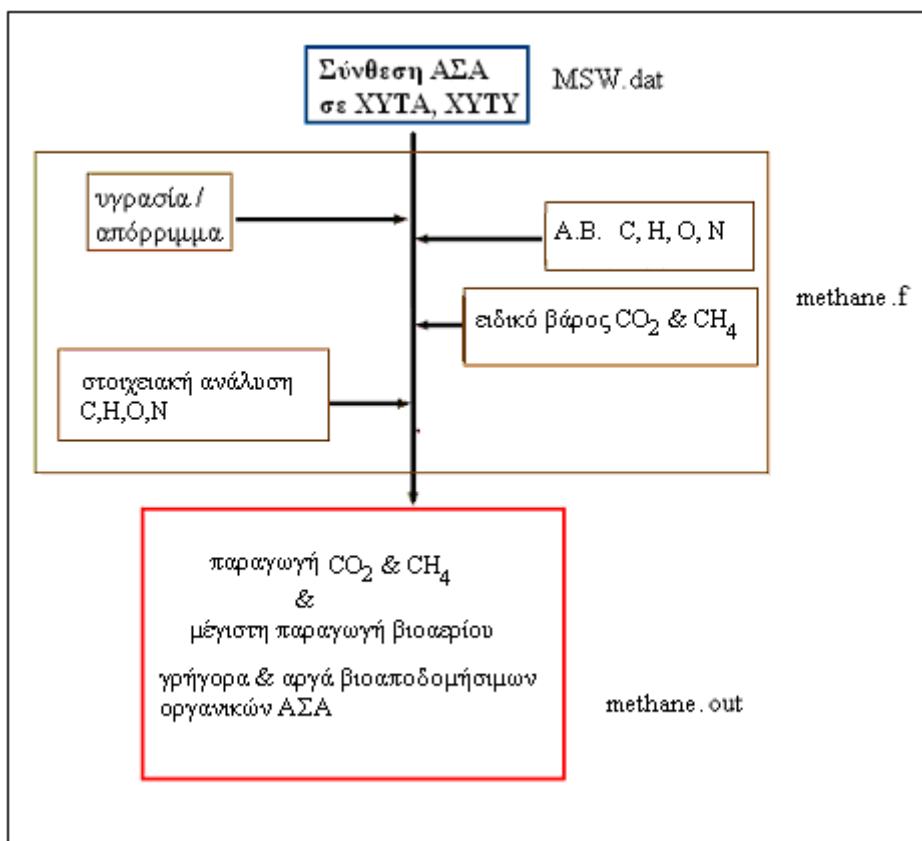
Στη συνέχεια υποθέτοντας την εξίσωση



υπολογίζονται τα moles του CO<sub>2</sub> και του CH<sub>4</sub> που παράγονται.

Θεωρώντας επίσης την πυκνότητα των CO<sub>2</sub> και του CH<sub>4</sub> ίσες με 1,9768g/L και 0,7167g/L αντίστοιχα προκύπτουν οι όγκοι των αερίων.

Για να υπολογιστούν οι παράμετροι αυτές του βιοαερίου κατασκευάστηκε κώδικας το σκεπτικό του οποίου παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 3.5: Δομή προγράμματος μέγιστης εκτίμησης CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>

Το αρχείο εισόδου όπως και στο πρώτο πρόγραμμα είναι η σύνθεση των ΑΣΑ

MSW.dat

49.5

22.5

9.6

2.0

1.2

1.2

4.5

5

2.5

2



Το αρχείο εξόδου methane.out στην περίπτωση αυτή θα είναι:

```

*****
RAPIDLY DECOMPOSABLE
*****
TOTAL WEIGHT, KG
73.20
TOTAL DRY WEIGHT, KG
36.48

"CHEMICAL FORMULA"
C H O N
41 66 28 1

"FACTORS"
H2O CH4 CO2 NH3
 11.250  21.375  19.625  1.000

"MOLES"
CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3
1006.  202.5  342.  863.5  17.

VOLUME OF CH4 & CO2  PRODUCED, M^3
17.30  15.84

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG D.W.
 0.91
THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG
 0.45

*****
SLOWLY DECOMPOSABLE
*****
TOTAL WEIGHT, KG
5.20
TOTAL DRY WEIGHT, KG
4.28

"CHEMICAL FORMULA"
C H O N
14 21 3 1

"FACTORS"
H2O CH4 CO2 NH3
8.000  8.500  5.500  1.000

"MOLES"
CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3
237.  144.  136.  242.  17.

VOLUME OF CH4 & CO2  PRODUCED, M^3
 3.43  2.21

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG D.W.
 1.32
THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG
 1.08
    
```

Τα αποτελέσματα του αρχείου εξόδου συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 3.9: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων αρχείου methane.out (XYTA)

Methane.out		
Γρήγορα αποδομήσιμα οργανικά	Μονάδες	Τιμές
Ολικό ξηρό βάρος	kg	36,48
Χημικός τύπος		$C_{41}H_{66}O_{28}N$
Αντίδραση	συντελεστές	$C_{41}H_{66}O_{28}N + 11,25H_2O \rightarrow 21,375CH_4 + 19,625CO_2 + 1NH_3$
	moles	1006      202,5      342      863,5      17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	17,30
Όγκος $CO_2$	$m^3$	15,84
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	0,90
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$	0,45
Αργά αποδομήσιμα οργανικά		
Ολικό ξηρό βάρος		4,28
Χημικός τύπος		$C_{14}H_{21}O_3N$
Αντίδραση	Συντελεστές	$C_{14}H_{21}O_3N + 8H_2O \rightarrow 8,5CH_4 + 5,5CO_2 + 1NH_3$
	moles	237      144      136      242      17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	3,43
Όγκος $CO_2$	$m^3$	2,21
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	1,3

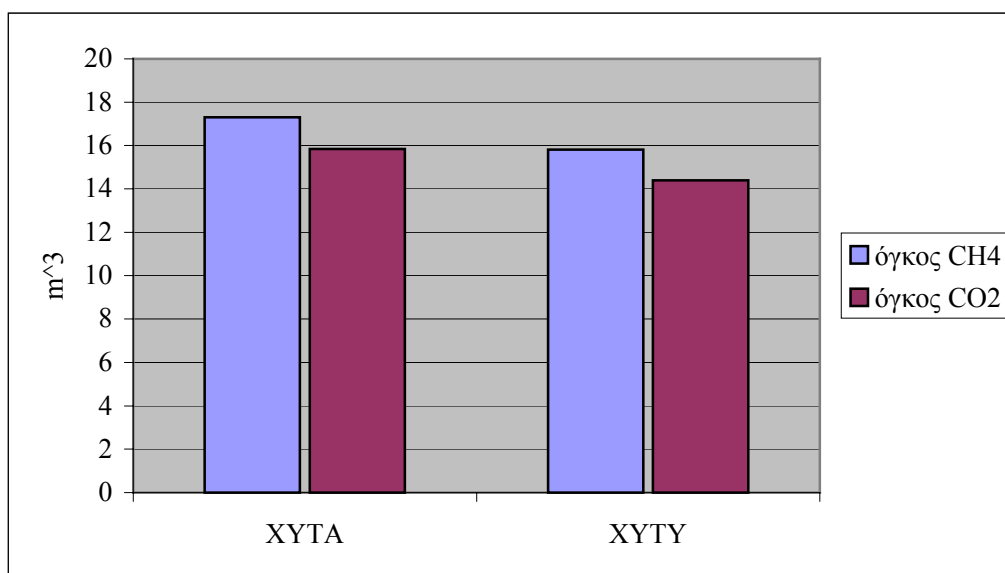
Στην περίπτωση τώρα του XYTY η διαδικασία είναι παρεμφερής απλά διαφοροποιείται το αρχείο εισόδου η σύνθεση, δηλαδή, των απορριμμάτων.

Συνεπώς προκύπτει ο πίνακας που ακολουθεί βάσει του αρχείου εξόδου που φαίνεται στο παράρτημα I.

Πίνακας 3.10: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων αρχείου methane2.out (XYTY)

Methane2.out		
Γρήγορα αποδομήσιμα	Μονάδες	Τιμές

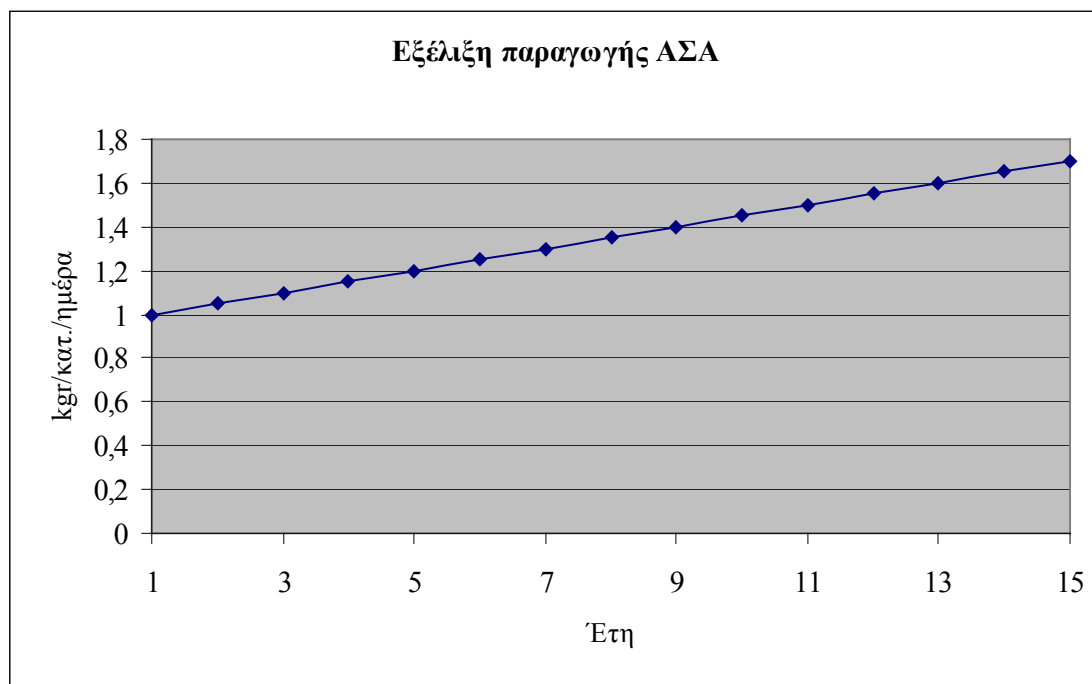
<b>οργανικά</b>		
Ολικό ξηρό βάρος	kg	32,91
Χημικός τύπος		$C_{33}H_{53}O_{22}N$
Αντίδραση	συντελεστές	$C_{33}H_{53}O_{22}N + 9,5H_2O \rightarrow 17,25CH_4 + 15,75CO_2 + 1NH_3$
	moles	801            171            276            693            17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	15,82
Όγκος $CO_2$	$m^3$	14,40
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	0,92
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$	0,40
<b>Αργά αποδομήσιμα οργανικά</b>		
Ολικό ξηρό βάρος		5,24
Χημικός τύπος		$C_{14}H_{21}O_3N$
Αντίδραση	Συντελεστές	$C_{14}H_{21}O_3N + 8H_2O \rightarrow 8,5CH_4 + 5,5CO_2 + 1NH_3$
	moles	237            144            136            242            17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	4,20
Όγκος $CO_2$	$m^3$	2,71
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	1,32



Εικόνα 3.6: Σύγκριση όγκου  $CH_4$  και  $CO_2$  σε XYTA - XYTY

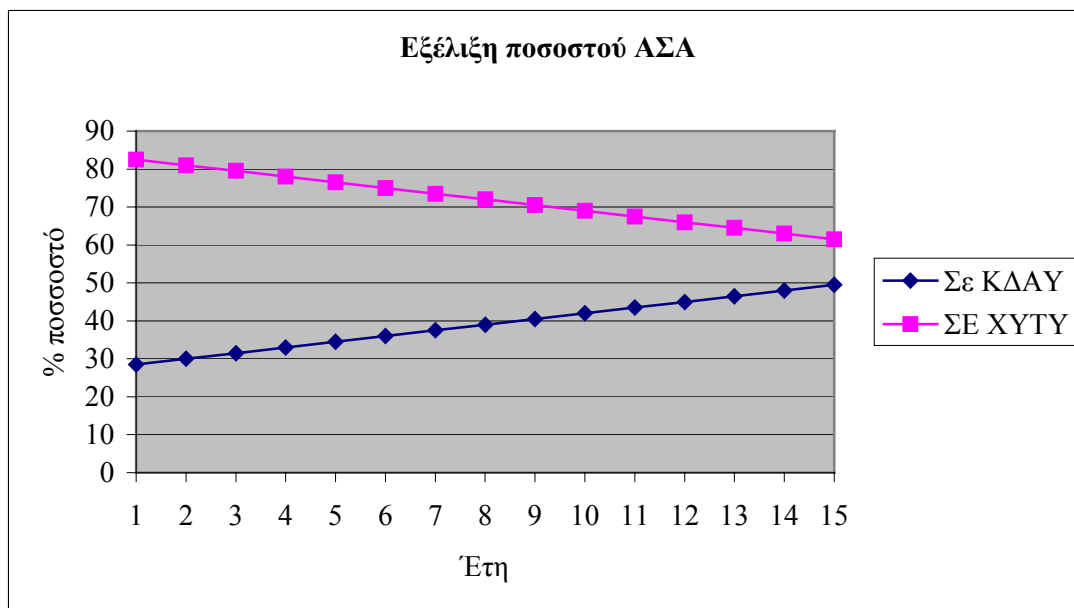
Στη συνέχεια, γίνονται κάποιες επιπλέον θεωρήσεις προκειμένου να υπάρχει μια αρχική εκτίμηση για το χρόνο ζωής του ΧΥΤΑ και του ΧΥΤΥ. Έστω πως ο διαθέσιμος χώρος είναι 35 στρέμματα και το βάθος της λεκάνης περίπου 13m. Συνεπώς ο όγκος της λεκάνης θα είναι 455.000m<sup>3</sup>.

Θεωρείται επιπλέον, πως ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός παραμένει σταθερός ενώ η κατανάλωση των απορριμμάτων αυξάνει κάθε χρόνο 0,05kg/κατ./έτος.



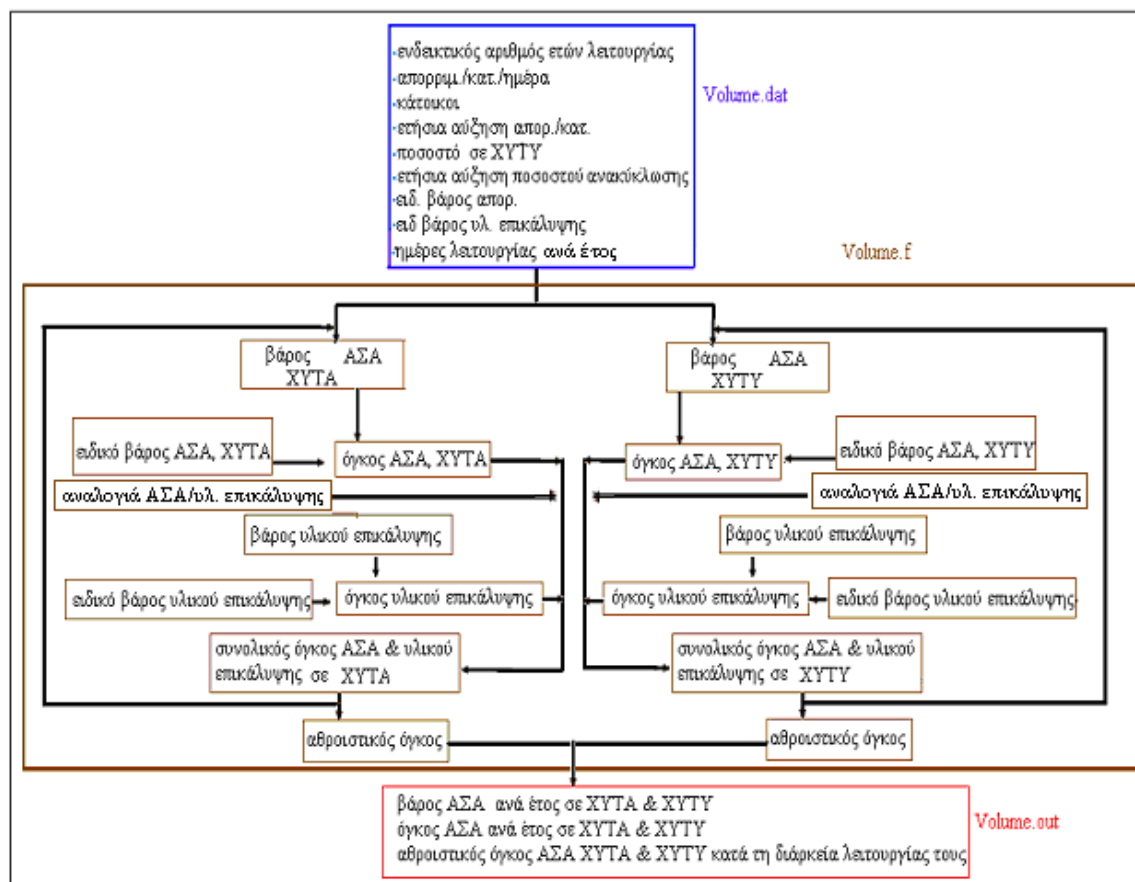
Εικόνα 3.7: Εξέλιξη παραγωγής ΑΣΑ / kg/κατ./έτος

Στην περίπτωση που υπάρχει ΚΔΑΥ θεωρείται πως η συμμετοχή των κατοίκων στο πρόγραμμα ανακύκλωσης αυξάνεται με αποτέλεσμα να υπάρχει κάθε χρόνο μεγαλύτερο ποσό υλικών που ανακτάται και αντίστοιχα μικρότερο ποσό υπολειμμάτων που καταλήγει στο ΧΥΤΥ.



Εικόνα 3.8: Εξέλιξη παραγωγής ποσοστού ΑΣΑ που φτάνουν σε ΧΥΤΑ και ΚΔΑΥ

Η δομή του προγράμματος παρουσιάζεται συνοπτικά στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 3.9: Δομή προγράμματος εκτίμησης βάρους και όγκου των ΑΣΑ σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ

Το αρχείο εισόδου στην περίπτωση αυτή θα είναι Volume.dat:

10  
1  
70000  
0.05  
81  
1  
465  
499  
1200  
350

Και το αρχείο εξόδου volume.out

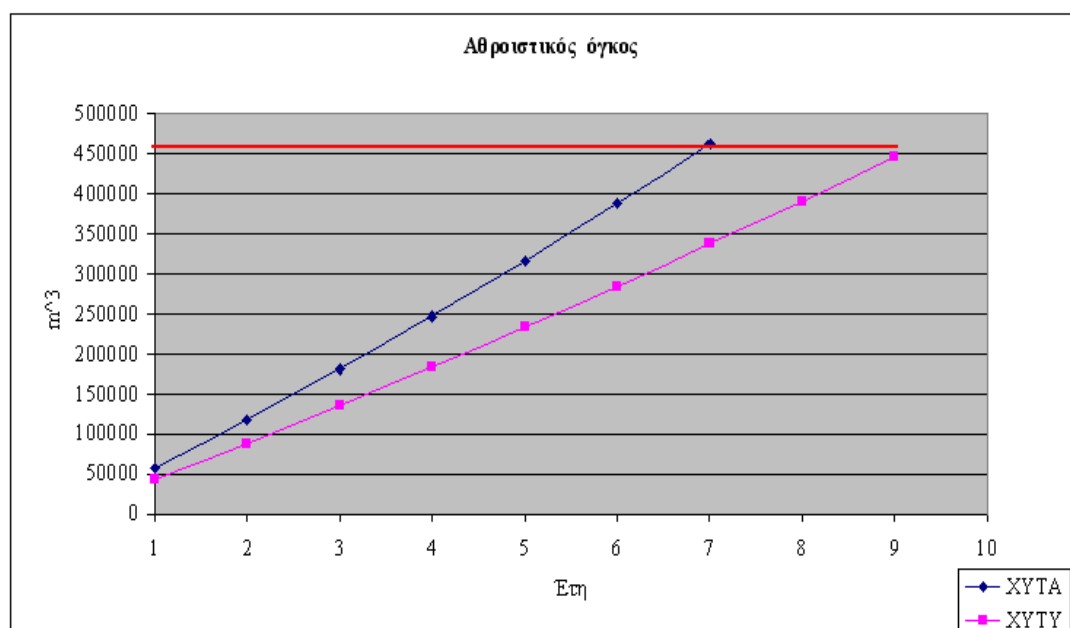
```

*****
XYTA
*****
MSW/YEAR, KG
24800000.00    26039998.00    27279998.00    28519996.00
29759996.00    30999994.00    32239992.00    33479992.00
34719992.00    35959988.00
MSW&COVER SOIL/YEAR, M^3
57466.66      60340.00      63213.33      66086.66      68959.99
71833.32      74706.64      77579.98      80453.31      83326.63
CUMULATIVE VOLUME, M^3
57466.66      117806.66     181019.98     247106.64     316066.63
387899.94     462606.56     540186.56     620639.88     703966.50

*****
XYTY
*****
MSW/YEAR, KG
20088000.00    20831998.00    21551200.00    22245598.00
22915198.00    23559996.00    24179996.00    24775196.00
25345596.00    25891194.00
MSW&COVER SOIL/YEAR, M^3
43604.51      45219.49      46780.64      48287.95      49741.44
51141.09      52486.91      53778.89      55017.04      56201.36
CUMULATIVE VOLUME, M^3
43604.51      88824.00      135604.64     183892.59     233634.03
284775.13     337262.03     391040.94     446057.97     502259.31
    
```

\* Τα αποτελέσματα διαβάζονται από τα αριστερά προς τα δεξιά, για τη συγκεκριμένη περίπτωση, το πρόγραμμα έχει τρέξει για 10 έτη

Ο αθροιστικός όγκος για τις δυο περιπτώσεις αναπαρίσταται στο επόμενο γράφημα.

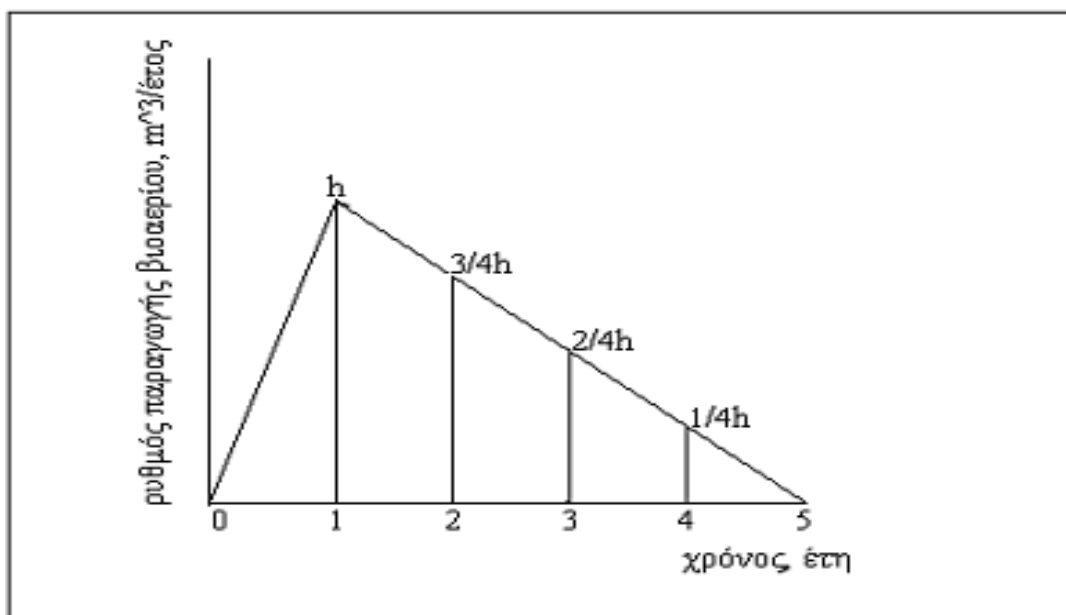


Εικόνα 3.10: Αθροιστικός όγκος των ΑΣΑ σε XYTA και XYTY

Όπως φαίνεται αν ο χώρος λειτουργεί σαν XYTA θα έχει εκτιμώμενη διάρκεια ζωής περίπου 7 έτη ενώ αν λειτουργεί σαν XYTY 9 έτη.

Η παραγωγή του βιοαερίου θα υπολογιστεί βάσει της ακόλουθης διαδικασίας, σύμφωνα και με όσα ειπώθηκαν προηγούμενα (τριγωνικό μοντέλο).

Τα γρήγορα αποδομήσιμα ΑΣΑ χρησιμοποιώντας το τριγωνικό μοντέλο εκτίμησης των παραγόμενων ΑΣΑ θα αποδομηθούν μέσα σε 5 έτη:



Εικόνα 3.11: Τριγωνικό μοντέλο εκτίμησης αποδόμησης ΓΑΣΑ

Καθορίζεται αρχικά το ποσό του βιοαερίου που παράγεται στο τέλος κάθε έτους από 1 kg ΑΣΑ.

Η συνολικά παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου,  $m^3$  θα ισούται με:

$$1/2 (\text{βάση, έτος}) \cdot (\text{ύψος, μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, } m^3/\text{έτος})$$

Σύμφωνα με το αρχείο εξόδου, methane.out η συνολική ποσότητα βιοαερίου που παράγεται από ένα kg γρήγορα αποδομήσιμων ΣΑ (ΓΑΣΑ) είναι  $0,9m^3$  επί ξηρής βάσης, έτσι η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που πραγματοποιείται στο τέλος του πρώτου έτους είναι

$$0,9 \cdot 2/5 = 0,36 m^3/\text{έτος}$$

Το ποσό του βιοαερίου που θα παραχθεί κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους που έχουμε βιοαέριο θα είναι:

$$\text{παραγόμενο βιοαέριο κατά το πρώτο έτος} = 1/5 \cdot (1\text{έτος}) \cdot 0,36 = 0,072 m^3/\text{έτος}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός για τα ΓΑΣΑ ανά kg του συνολικού ποσού των ΑΣΑ

Από το αρχείο εξόδου methane.out το ποσοστό των γρήγορα αποδομήσιμων ΑΣΑ είναι 36,48%. Θεωρείται επιπλέον πως το 65% της ποσότητας αυτών των ΑΣΑ θα μπορέσουν να αποδομηθούν καθώς κάποια βρίσκονται κλεισμένα σε πλαστικές σακούλες ενώ κάποια άλλα δεν θα έχουν την αναγκαία υγρασία.

Το τμήμα των ολικών ΑΣΑ που αποδομείται γρήγορα, επί ξηρής βάσης.

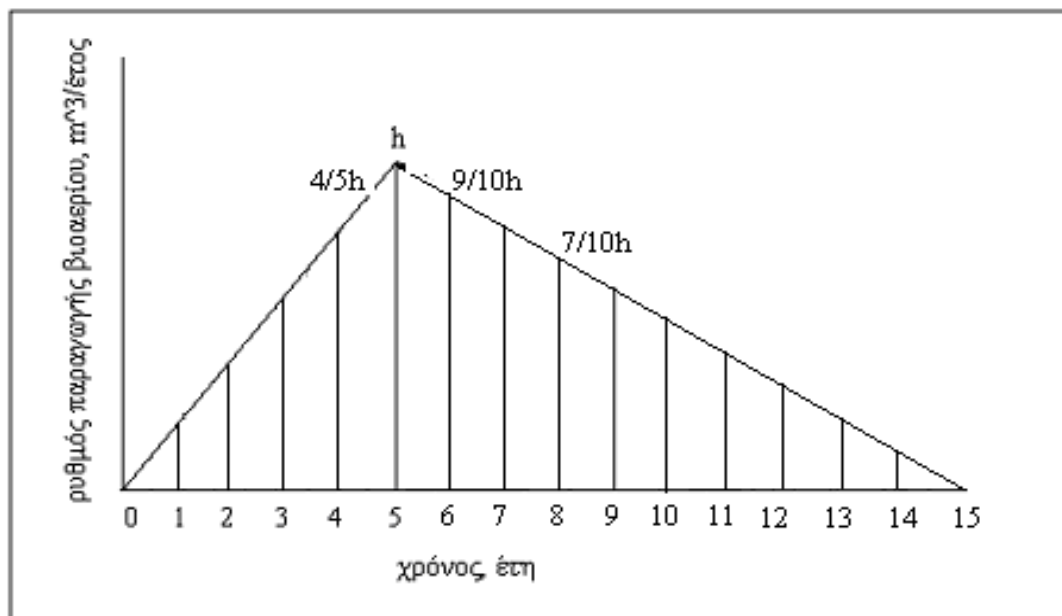
$$(0,365) \cdot (0,65) = 0,2375 \text{kg ΓΑΣΑ/kg ΣΑ.}$$

Συνολικά λοιπόν, η παραγωγή βιοαερίου  $m^3/\text{έτος}$  για το τέλος του δεύτερου έτους θα είναι:

$$(0,2375) \cdot (0,36) = 0,085 m^3/\text{έτος}$$

Όμοια και για τα επόμενα έτη.

Παρόμοια είναι η διαδικασία και για τα αργά βιοαποδομήσιμα ΑΣΑ.



Εικόνα 3.12: Τριγωνικό μοντέλο εκτίμησης αποδόμησης ΑΑΣΑ



Στην περίπτωση των ΑΑΣΑ θεωρείται πως αυτά θα αποδομηθούν σε 15 έτη. Σύμφωνα με το αρχείο εξόδου, methane.out η συνολική ποσότητα βιοαερίου που παράγεται από ένα kg αργά αποδομήσιμων ΣΑ (ΑΑΣΑ) είναι  $1,32\text{m}^3$ , έτσι η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που πραγματοποιείται στο τέλος της λειτουργίας του χώρου θα είναι:

$$1,32 \cdot 2/15 = 0,176 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Το ποσό του βιοαερίου που θα παραχθεί κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους που έχουμε βιοαέριο θα είναι:

$$\text{παραγόμενο βιοαέριο από το πρώτο έτος} = 1/5 \cdot (1\text{έτος}) \cdot 0,176 = 0,0352 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός για τα ΑΑΣΑ ανά kg του συνολικού ποσού των ΑΣΑ

Από το αρχείο εξόδου methane.out το ποσοστό των ΑΑΣΑ είναι 4,28%. Θεωρείται επιπλέον σε αυτή την περίπτωση πως το 50% της ποσότητας θα αποδομηθούν.

Το τμήμα των ολικών ΑΣΑ που αποδομείται αργά, επί ξηρής βάσης θα είναι :

$$(0,043) \cdot (0,5) = 0,021\text{kg ΑΑΣΑ/kg ΣΑ.}$$

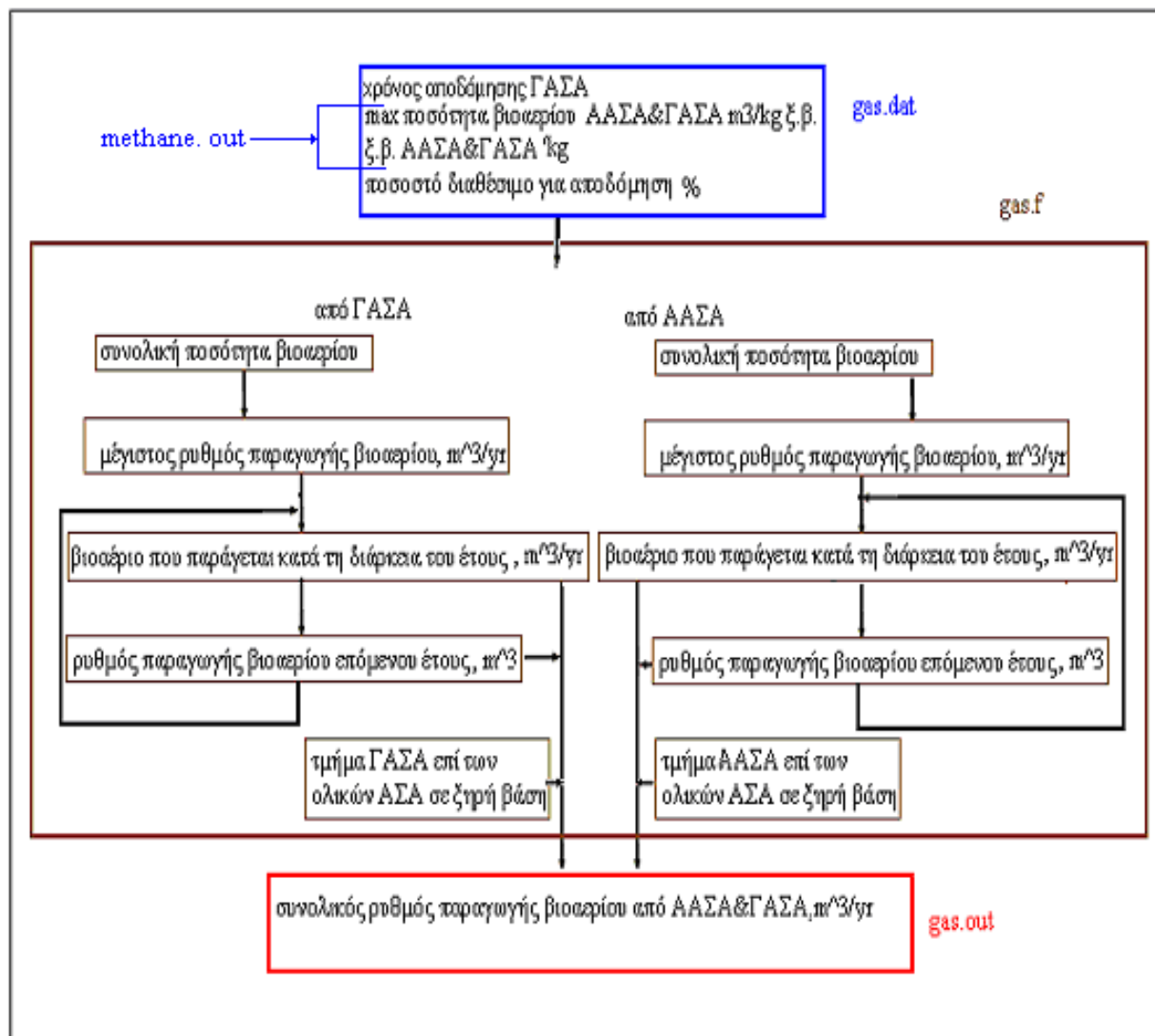
Συνολικά λοιπόν η παραγωγή βιοαερίου  $\text{m}^3/\text{έτος}$  για το τέλος του δευτέρου έτους θα είναι

$$(0,021) \cdot (0,0352) = 7,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{έτος}$$

Όμοια για τα επόμενα έτη.

Ο ολικός ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου για το δεύτερο έτος από ΑΑΣΑ και ΓΑΣΑ θα είναι :  $0,055\text{m}^3/\text{έτος} + 2,247 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Ομοίως τα επόμενα έτη

Προκειμένου να υπολογιστεί το βιοαέριο κατασκευάστηκε πρόγραμμα στην Fortran (gas.f) το σκεπτικό του οποίου έχει ως εξής:



Εικόνα 3.13: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση του συνολικού ρυθμού παραγωγής βιοαερίου από ΑΑΣΑ και ΓΑΣΑ

Στο αρχείο εισόδου θα πρέπει να υπάρχουν ως δεδομένα τα έτη λειτουργίας του χώρου, η μέγιστη ποσότητα βιοαερίου των ΑΑΣΑ και ΓΑΣΑ σε  $m^3/kg$  ξηρού βάρους, το ξηρό βάρος των ΑΑΣΑ και των ΓΑΣΑ που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο πρόγραμμα (methane.dat) και το ποσοστό που θεωρείται πως είναι διαθέσιμο να αποδομηθεί:

Έτσι λοιπόν, το αρχείο εισόδου στην 1<sup>η</sup> περίπτωση θα έχει ως εξής:

Gas.f

- 5
- 0.9
- 1.3
- 36.48
- 4.28
- 0.65
- 0.5

και το αρχείο εξόδου (gas.out) θα έχει την μορφή

```
*****
RAPIDLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION
0.00000 0.08536 0.06402 0.04268 0.02134 0.00000

GAS PRODUCTION
0.04268 0.07469 0.05335 0.03201 0.01067

*****
SLOWLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION 1-N
0.00000 0.00074 0.00148 0.00223 0.00297
RATE OF GAS PRODUCTION N-3N
0.00334 0.00297 0.00260 0.00223 0.00185 0.00148 0.00111 0.00074
0.00037 0.00000

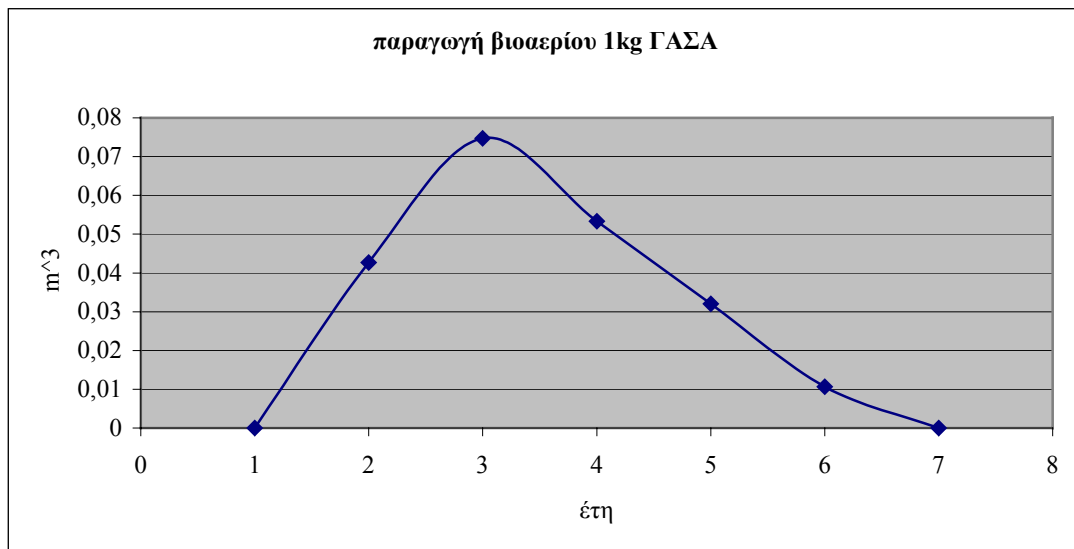
GAS PRODUCTION 1-N
0.00037 0.00111 0.00185 0.00260 0.00334
GAS PRODUCTION N+1
0.00352386665
GAS PRODUCTION N+2-3N
0.00315 0.00278 0.00241 0.00204 0.00167 0.00130 0.00093 0.00056
0.00019

TOTAL RATE OF GENERATION
0.00000 0.08611 0.06551 0.04491 0.02431 0.00334 0.00297 0.00260
0.00223 0.00185 0.00148 0.00111 0.00074 0.00037 0.00000

TOTAL VOLUME OF GAS
0.04305 0.07581 0.05521 0.03461 0.01401 0.00352 0.00315 0.00278
0.00241 0.00204 0.00167 0.00130 0.00093 0.00056 0.00019
```

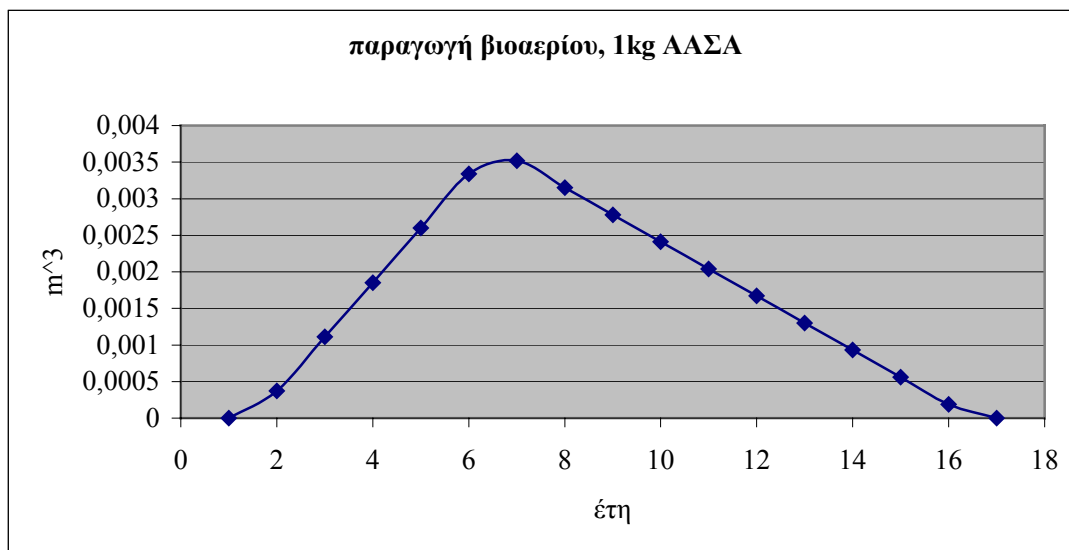
\* το αρχείο εξόδου διαβάζεται από τα αριστερά προς τα δεξιά για κάθε έτος.

Από το αρχείο εξόδου λαμβάνεται η σειρά ‘GAS PRODUCTION’ από τα ΓΑΣΑ και χαράσσεται η γραφική παράσταση της παραγωγής βιοαερίου από 1kg .



Εικόνα 3.14: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΓΑΣΑ

Με παρόμοιο τρόπο κατασκευάζεται η γραφική παράσταση για τα ΑΑΣΑ.



Εικόνα 3.15: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΑΣΑ

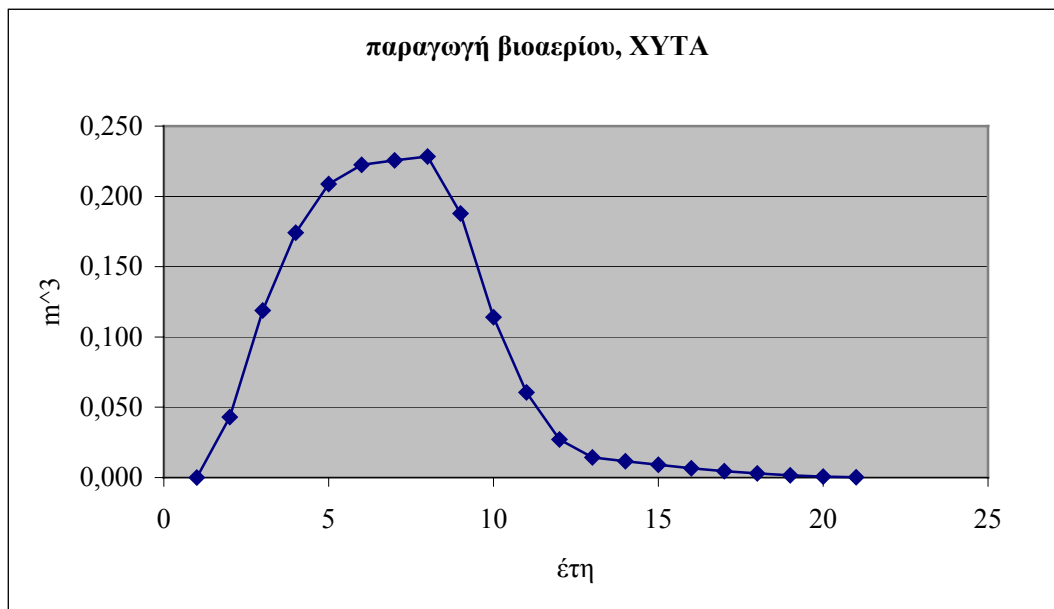
Από τη στήλη ‘TOTAL RATE OF GAS GENERATION’ κατασκευάζεται πίνακας ως ακολούθως για να βρεθεί η ολική παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ για 9 έτη

Πίνακας 3.11: Εκτίμηση ολικής παραγωγής βιοαερίου από 1kg ΑΣΑ

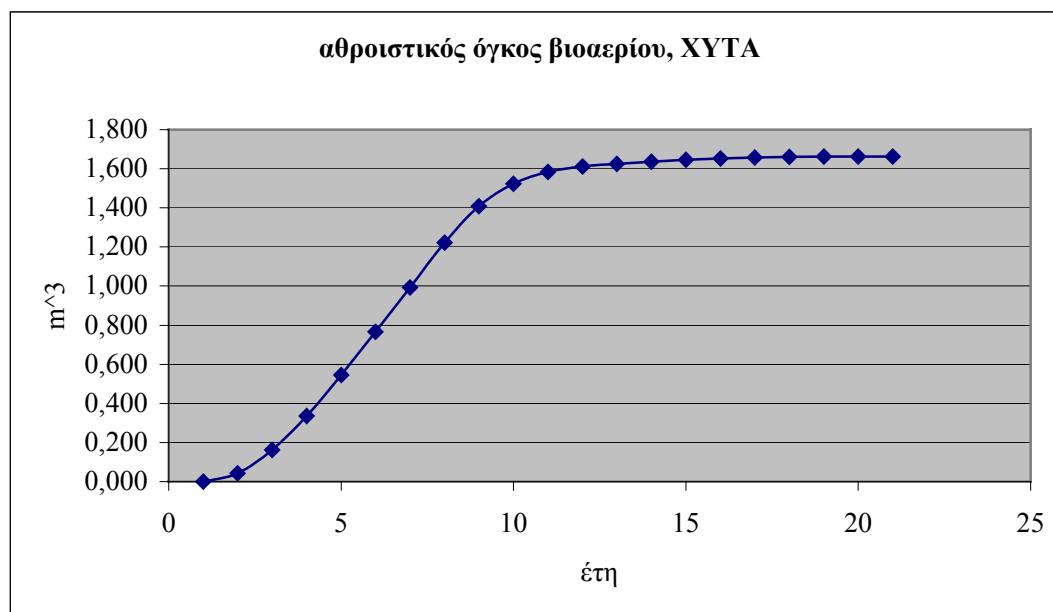
Τέλος έτους	Έτη λειτουργίας							Σύνολο	Βιοαέριο	Αθροιστικά
	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	3 <sup>ο</sup>	4 <sup>ο</sup>	5 <sup>ο</sup>	6 <sup>ο</sup>	7 <sup>ο</sup>			
0	0							0		
1	0	0						0		
2	0,0861	0	0					0	0,000	0,000
3	0,0655	0,0861	0	0				0,0861	0,043	0,043
4	0,0449	0,0655	0,0861	0	0			0,1516	0,119	0,162
5	0,0243	0,0449	0,0655	0,0861	0	0		0,1965	0,174	0,336
6	0,0033	0,0243	0,0449	0,0655	0,0861	0	0	0,2208	0,209	0,545
7	0,0003	0,0033	0,0243	0,0449	0,0655	0,0861	0	0,2241	0,223	0,767
8	0,0026	0,0029	0,0033	0,0243	0,0449	0,0655	0,0861	0,2271	0,226	0,993
9	0,0022	0,0026	0,0029	0,0033	0,0243	0,0449	0,0655	0,2297	0,228	1,221
10	0,0019	0,0022	0,0026	0,0029	0,0033	0,0243	0,0449	0,1458	0,188	1,409
11	0,0015	0,0018	0,0022	0,0026	0,0029	0,0033	0,0243	0,0822	0,114	1,523
12	0,0011	0,0014	0,0018	0,0022	0,0026	0,0029	0,0033	0,0387	0,060	1,584
13	0,0007	0,0011	0,0014	0,0018	0,0022	0,0026	0,0029	0,0155	0,027	1,611
14	0,0004	0,0007	0,0011	0,0014	0,0018	0,0022	0,0026	0,0129	0,014	1,625
15	0	0,0003	0,0007	0,0011	0,0014	0,0018	0,0022	0,0103	0,012	1,637
16		0	0,0003	0,0007	0,0011	0,0014	0,0018	0,0077	0,009	1,646
17		0	0	0,0003	0,0007	0,0011	0,0014	0,0055	0,007	1,653
18			0	0	0,0003	0,0007	0,0011	0,0037	0,005	1,657

19				0	0	0.00037	0.00074	0,00222	0,003	1,660
20					0	0	0.00037	0,00111	0,002	1,662
21						0	0	0,00037	0,001	1,663
22							0	0	0,000	1,663

Η προτελευταία στήλη δίνει την ποσότητα του βιοαερίου σε m<sup>3</sup>, ενώ η τελευταία την αθροιστικά παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου m<sup>3</sup>.



Εικόνα 3.16: Παραγωγή βιοαερίου από την απόθεση 1kg ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ κάθε χρόνο



Εικόνα 3.17: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από την απόθεση 1kg ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ κάθε χρόνο

### 3.4.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ

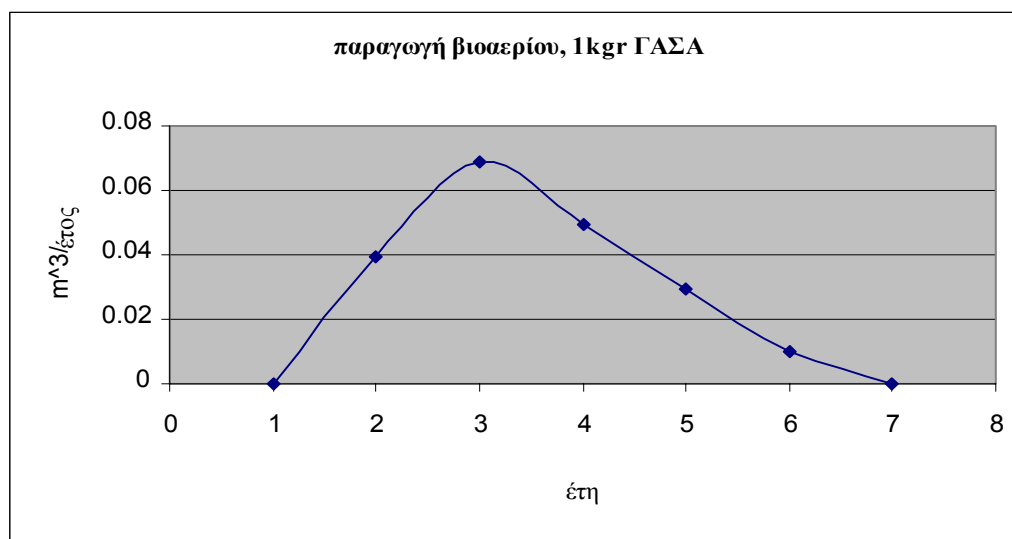
Με παρόμοια διαδικασία δημιουργούνται και οι γραφικές παραστάσεις για την περίπτωση ΑΣΑ τα οποία έχουν καταλήξει σε ΧΥΤΥ.

Στην περίπτωση αυτή τροποποιείται το αρχείο εξόδου το οποίο θα έχει ως εξής gas.dat

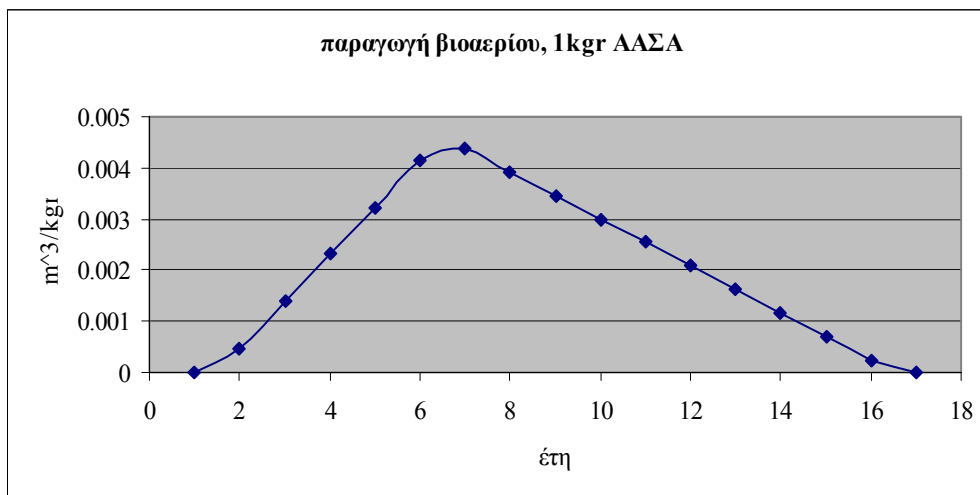
```
5
0.91
1.3
32.91
5.24
0.65
0.5
```

Το αρχείο εξόδου καθώς και ο πίνακας που παράγεται παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

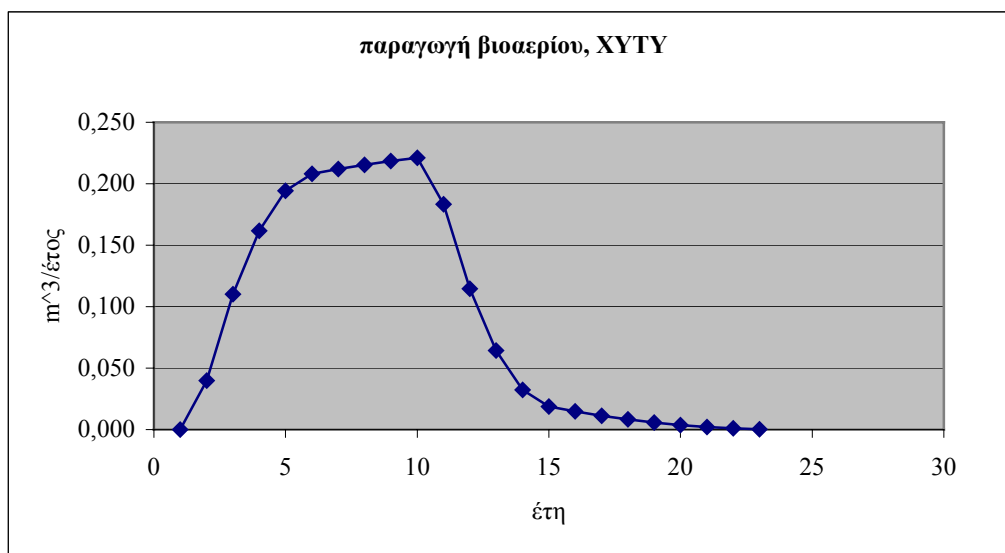
Τα γραφήματα που λαμβάνονται είναι αυτά που ακολουθούν.



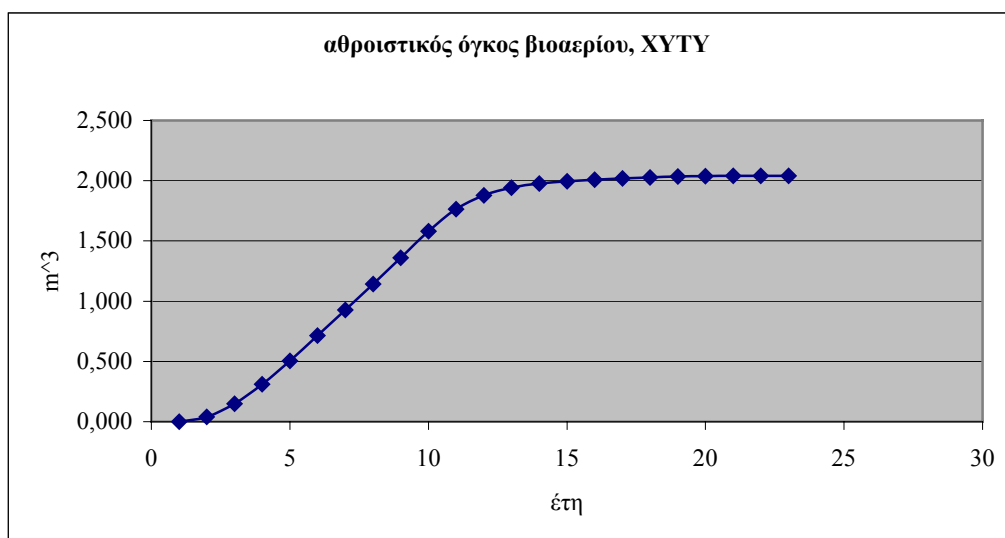
Εικόνα 3.18: Παραγωγή βιοαερίου από 1kgf ΓΑΣΑ (ΧΥΤΥ)



Εικόνα 3.19: Παραγωγή βιοαερίου από από 1kg ΑΑΣΑ (ΧΥΤΥ)



Εικόνα 3.20: Παραγωγή βιοαερίου από την απόθεση 1kg ΑΣΑ στο ΧΥΤΥ κάθε χρόνο



Εικόνα 3.21: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από την απόθεση 1kg ΑΣΑ στο ΧΥΤΥ κάθε χρόνο

Στην περίπτωση που θέλουμε να έχουμε μια γρήγορη εκτίμηση του βιοαερίου που παράγεται από ένα ελεγχόμενο χώρο διάθεσης απορριμμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση Tabarasan η οποία είναι και η πλέον χρησιμοποιούμενη.

Η σχέση έχει ως εξής

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt})$$

όπου

$Q_{CH_4}$  = ρυθμός παραγωγής μεθανίου t, m<sup>3</sup>/yr,

$L_0$  = δυνητική παραγωγή μεθανίου, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg ΑΣΑ,

R = μέση ετήσια αποδοχή ΑΣΑ όσο είναι ενεργός ο χώρος, Mg/yr,

k = σταθερά ρυθμού παραγωγής μεθανίου, yr<sup>-1</sup>,

c = χρόνος από την παύση λειτουργίας του χώρου, yrs ( c=0 για ενεργό ΧΥΤΑ),

t = χρόνος από την αρχική απόθεση ΑΣΑ, yrs.

Το  $L_0$  δίδεται από τη σχέση

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \quad [25]$$

Στο 1<sup>ο</sup> σενάριο (μόνο ΧΥΤΑ) η τιμή του DOC που δίνεται από τη σχέση

DOC (%) = 0,4(A) + 0,17(B) + 0,15(C) + 0,3(D) θα είναι

DOC = 0,4 · 24,5 + 0,17 · 3,2 + 0,15 · 49,5 + 0,3 · 0 = 18,07% επίσης

DOC<sub>F</sub> = 0,014 · 25 + 0,28 = 0,63

και MCF από τον πίνακα της σελίδας 61 θα ισούται με 1 (ελεγχόμενος χώρος)

ενώ το F έλλειψης δεδομένων τίθεται ίσο με 0,5.

Συνεπώς το  $L_0$  θα ισούται με

$$L_0 = 1 \cdot (18,07/100) \cdot 0,63 \cdot 0,5 \cdot 16/12 = 0,076 \text{ tn CH}_4/\text{tn ΑΣΑ}$$

επιπλέον  $d_{CH_4} = 0,714 \text{ kg / m}^3$  συνεπώς

$$L_0 = 107 \text{ m}^3/\text{tn ΑΣΑ}.$$

Αρχικά η σταθερά ρυθμού μεθανογένεσης θεωρείται ίση με 0,05/yr.

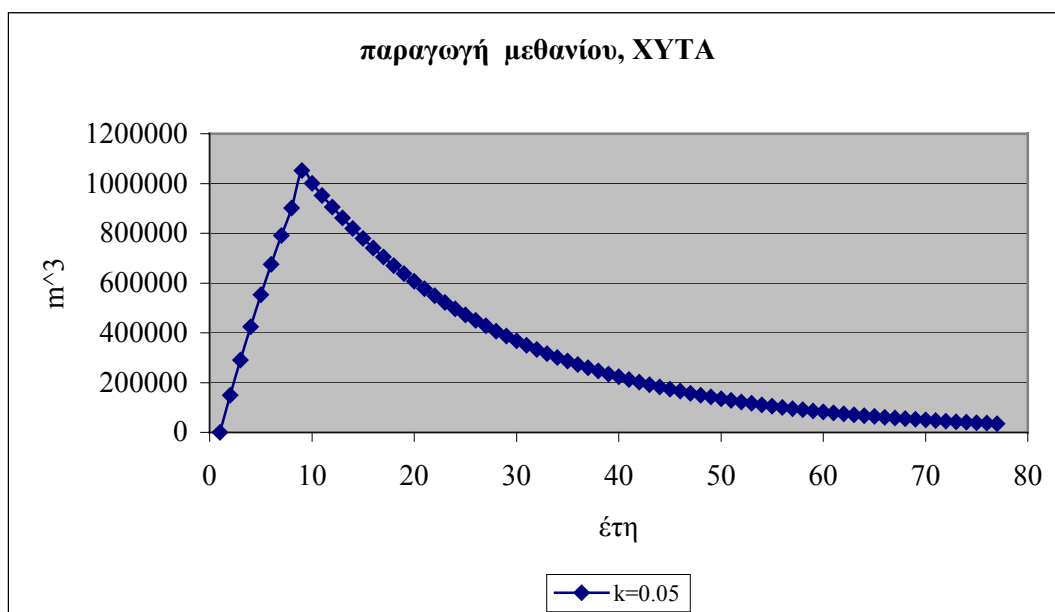
Η παραγωγή ΑΣΑ σύμφωνα με το volume.out

Πίνακας 3.12: Παραγωγή ΑΣΑ που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ

Έτος	ΑΣΑ / έτος, tn
1	24.000
2	25.200
3	26.400
4	27.600
5	28.800
6	29.999
7	31.200
8	32.400
9	33.600

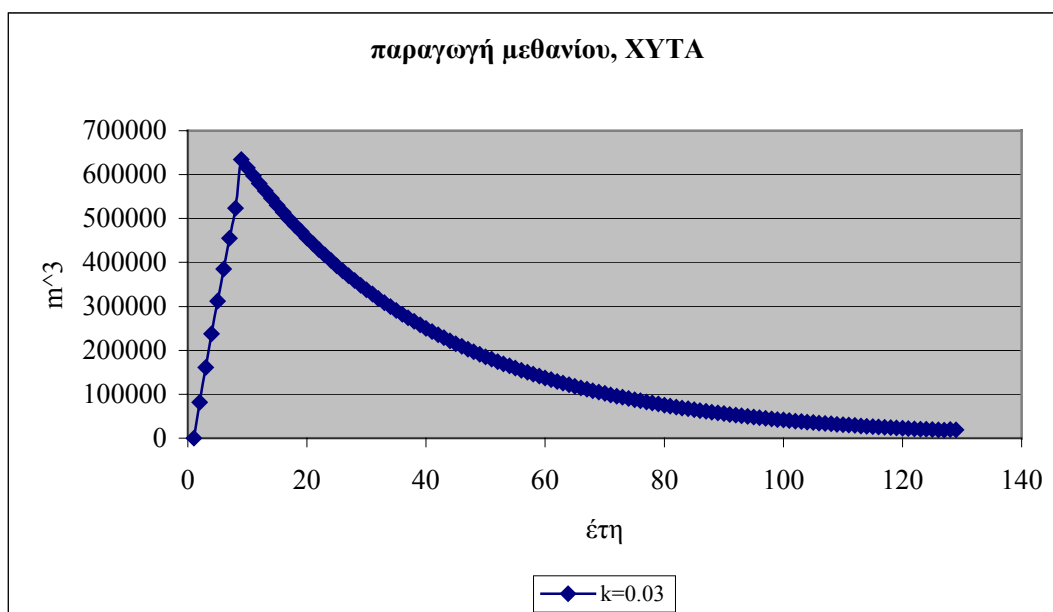


<b>Μέση παραγωγή</b>	28.800
----------------------	--------



Εικόνα 3.22: Παραγωγή CH<sub>4</sub> για  $k=0,05$ /yr (ΧΥΤΑ)

Τα αποτελέσματα ωστόσο μεταβάλλονται σημαντικά στην περίπτωση που αλλάξει ο συντελεστής μεθογένεσης. Στην περίπτωση λοιπόν, που  $k=0,03$ /yr η γραφική που προκύπτει έχει την μορφή:



Εικόνα 3.23: Παραγωγή CH<sub>4</sub> για  $k=0,03$ /yr (ΧΥΤΑ)

Το μέγιστο παρατηρείται στο ίδιο έτος αλλά δίνει αισθητά χαμηλότερη τιμή βιοαερίου. Ωστόσο παρατηρείται πως 100 έτη μετά το πέρας της λειτουργίας του χώρου απόθεσης εξακολουθεί να παράγεται ποσότητα βιοαερίου.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στην περίπτωση που ο ελεγχόμενος χώρος διάθεσης λειτουργεί σαν ΧΥΤΥ.

Στην περίπτωση αυτή το DOC διαφοροποιείται και ισούται με

$DOC = 0,4 \cdot 17,9 + 0,17 \cdot 3,9 + 0,15 \cdot 59,2 + 0,3 \cdot 0 = 16,7\%$  ενώ τα  $DOC_F$  και  $MCF$  παραμένουν σταθερά.

$L_o = 1 \cdot (16,7/100) \cdot 0,63 \cdot 0,5 \cdot 16/12 = 0,07 \text{tn CH}_4/\text{tn ΑΣΑ}$  ή

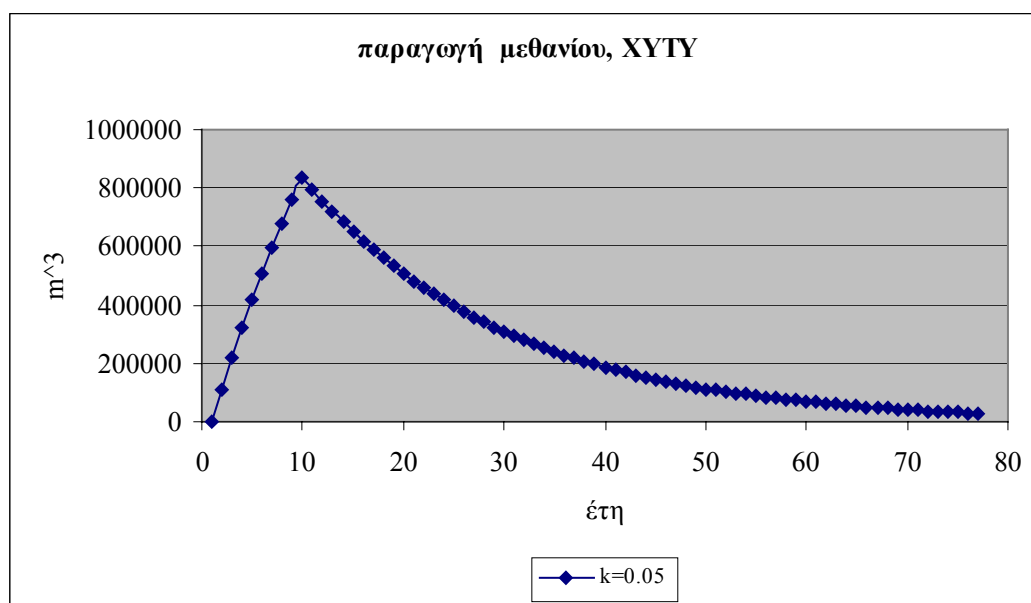
Η μέση παραγωγή ΑΣΑ που καταλήγουν ετησίως στο ΧΥΤΥ είναι 22506tn.

επιπλέον  $d_{CH_4} = 0,714 \text{ kg / m}^3$  συνεπώς

$$L_o = 98 \text{m}^3/\text{tn ΑΣΑ}.$$

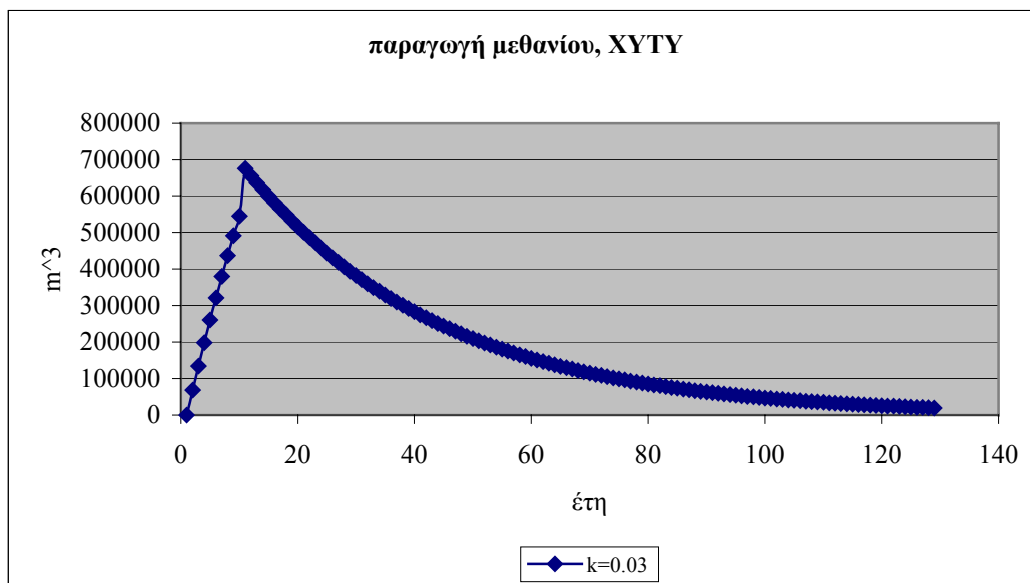
Τελικά από τη σχέση

$Q_{CH_4} = L_o \cdot R \cdot (e^{-kc} - e^{-kt})$  προκύπτει το ακόλουθο γράφημα



Εικόνα 3.24: Παραγωγή  $CH_4$  για  $k=0,05/\text{yr}$  (ΧΥΤΥ)

Στην περίπτωση που το  $k$  είναι ίσο  $0,03/\text{yr}$ , η γραφική παράσταση θα είναι.



Εικόνα 3.25: Παραγωγή  $CH_4$  για  $k=0,03/yr$  (XYTY)

Τα αποτελέσματα που δίνουν οι δύο μέθοδοι διαφέρουν σημαντικά ως προς την ετήσια παραγωγή του μεθανίου, καθώς ενώ οι τιμές της δυναμικής ποσότητας του βιοαερίου είναι αρκετά κοντά στην πρώτη μεθοδολογία θεωρείται αποδόμηση των ΑΣΑ 15 έτη αφότου αποθεθούν στο ΧΥΤ ενώ τα τελευταία, στη δεύτερη παρατηρείται αποδόμηση 80-130 έτη μετά το πέρας της λειτουργίας του χώρου. Η πρώτη μεθοδολογία φαίνεται πως βρίσκεται πιο κοντά, στην πραγματικότητα αν και κανείς δεν μπορεί να αποκλείσει την αποδόμηση κάποιων υλικών αρκετές δεκαετίες μετά την αποκατάσταση του χώρου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ – ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΣΤΑΛΛΑΓΜΑΤΩΝ

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πλήθος ορισμών έχει δοθεί τόσο από νομοθετικά όργανα όσο και από συγγραφείς ώστε να καθοριστεί με τον κατά το δυνατό καλύτερο τρόπο η έννοια των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από ένα ΧΥΤΑ. Μερικοί από αυτούς παρατίθενται στη συνέχεια.

Ως αποπλύματα ορίζονται τα νερά που ρέουν και εκρέουν από το ΧΥΤΑ [10]. Στο ΦΕΚ1572/2002 τα στραγγίσματα ορίζονται ως εξής: Οποιαδήποτε υγρά ρέουν δια μέσου των αποτεθέντων αποβλήτων και εκρέουν από το χώρο ταφής ή περιέχονται μέσα του. [30]

Αρκετά πλήρεις εμφανίζονται και κάποιοι ορισμοί στην βιβλιογραφία, ‘ως διασταλλάγματα (ή στραγγίσματα ή αποπλύματα) ενός ΧΥΤΑ μπορούν να οριστούν τα υγρά που διαπερνούν την απορριμματική μάζα και τα οποία ανακύπτουν:

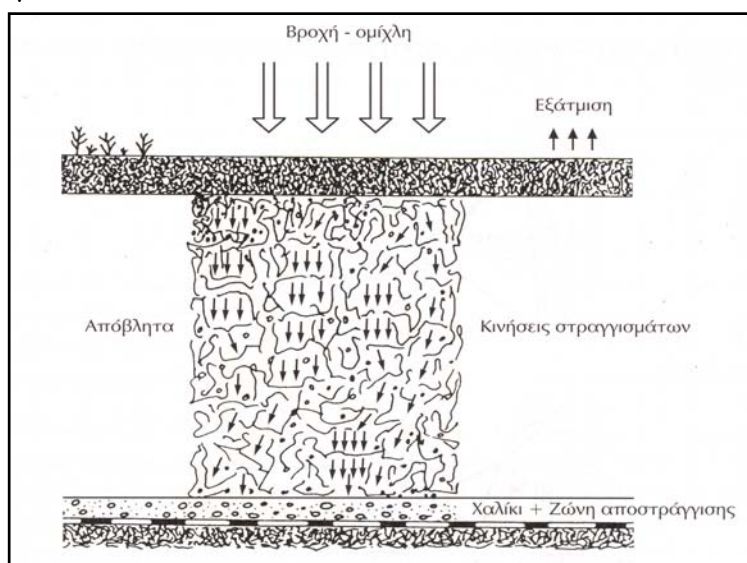
1. από επιφανειακά νερά (βροχόπτωση) που εισέρχονται στο σώμα του ΧΥΤΑ
2. από υγρασία που έχουν τα ίδια τα αστικά στερεά απόβλητα ή άλλα πρόσθετα (π.χ. ιλύς) και αποβάλλεται λόγω συμπίεσής τους και με τη δημιουργία καναλιών διαφυγής
3. από υγρασία που περιέχεται στις επικαλύψεις’. [1]

Οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ υδατικού ισοζυγίου και βιολογικής αποδόμησης στα ΑΣΑ έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση μεγάλων διακυμάνσεων στην ποιοτική και ποσοτική σύσταση των στραγγισμάτων. Παρόλα αυτά, είναι δυνατή η συλλογή αρκετών στοιχείων που επιτρέπουν μια εκτίμηση ποσοτική και ποιοτική της σύνθεσης των στραγγισμάτων σε μια εγκατάσταση ελεγχόμενης εναπόθεσης.

Η παραγωγή των στραγγισμάτων επηρεάζεται κυρίως από τις κλιματολογικές

συνθήκες, τη μορφολογία της περιοχής και τον τρόπο λειτουργίας του χώρου διάθεσης των αστικών αποβλήτων. Στο ΦΕΚ 1572/2002 ορίζεται πως η σύσταση των στραγγισμάτων ενός εν λειτουργία ΧΥΤΑ θα πρέπει να γίνεται ανά τρίμηνο ενώ κατά την φάση μετέπειτα φροντίδας ανά εξάμηνο.

Η ετερογενής σύνθεση των αστικών αποβλήτων και η ταξινόμηση τους κατά μέγεθος τα κάνει να προσομοιάζουν σε μείγμα από χοντρή άμμο, χαλίκια και βότσαλα αναμειγμένα με οργανικές ουσίες. Η δομή αυτή σε συνάρτηση με τον εκάστοτε τρόπο λειτουργίας δυσκολεύει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή της κίνησης των στραγγισμάτων. Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται η συμπεριφορά των στραγγισμάτων.



Εικόνα 4.1 Κίνηση – δημιουργία στραγγισμάτων [6]

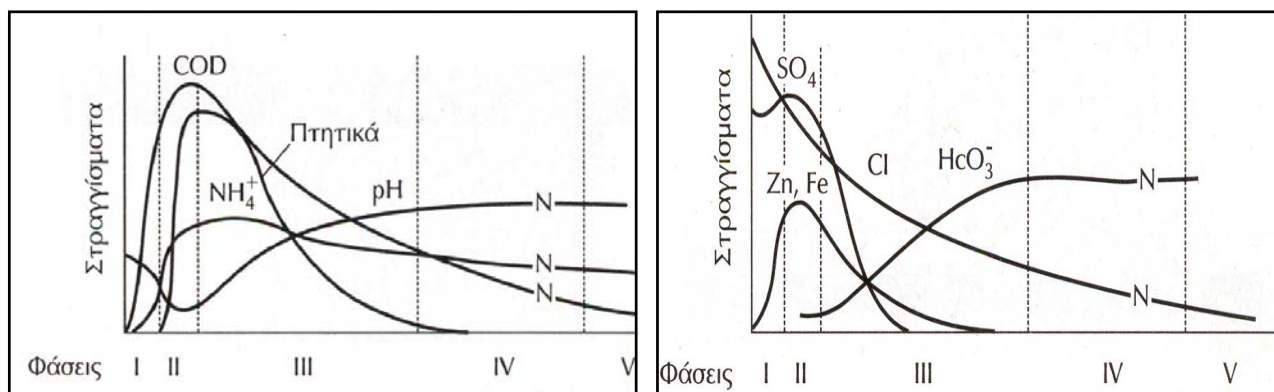
Η παραγωγή των στραγγισμάτων από ένα ΧΥΤΑ αποτελεί ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα. Οι οργανικές ουσίες αποτελούν τη σημαντικότερη επιβάρυνση των στραγγισμάτων και είναι το κυριότερο κριτήριο για την εκτίμηση της ποιότητάς τους. Έτσι, οι σπουδαιότερες παράμετροι θεωρούνται το BOD<sub>5</sub>, το COD, το TOC οι οποίες εξαρτώνται από την ηλικία της εγκατάστασης, το είδος της εφαρμοσμένης συμπίεσης και φυσικά τη σύνθεση των ΑΣΑ.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η ανάπτυξη των στραγγισμάτων σε χώρο διάθεσης αστικών αποβλήτων. Οι οργανικές ουσίες δείχνουν τάση μείωσης της συγκέντρωσής τους όσο αυξάνεται η ηλικία της εγκατάστασης.

Τα ανόργανα στοιχεία των στραγγισμάτων χωρίζονται ανάλογα με την διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεών τους σε τρεις κατηγορίες:

- α) παράμετροι με διαχρονική εξέλιξη συγκέντρωσης (Fe, Ca, Mg, Mn, Zn),
- β) παράμετροι με μακροπρόθεσμα ελαφρά αυξανόμενη συγκέντρωση (Cl, K, Na),
- γ) παράμετροι με τυχαίες διακυμάνσεις συγκεντρώσεων (NO<sub>x</sub>, P και βαρέα μέταλλα

Pb, Ni, As, Cu, Cd, Cr, Co).



Εικόνα 4.2: Διαχρονική εξέλιξη συγκεντρώσεων παραμέτρων ΧΥΤΑ [6]

Καθώς το νερό διεισδύει μέσα από τα στερεά απόβλητα που αποσυντίθενται, τόσο τα υλικά της βιοαποικοδόμησης όσο και οι χημικές ενώσεις 'στραγγίζονται' σε ένα διάλυμα. Αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών των διασταλλαγμάτων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.1: Τιμές χαρακτηριστικών παραμέτρων των διασταλλαγμάτων [11]

Παράμετροι	Τιμές (mg/L)		
	Νέοι ΧΥΤΑ (ηλικίας < 2 ετών)		Ωριμοί ΧΥΤΑ (ηλικίας > 10 ετών)
	Διακύμανση <sup>1</sup>	Τυπική τιμή <sup>2</sup>	Διακύμανση
BOD <sub>5</sub>	2.000-30.000	10.000	100-200
TOC	1.500-20.000	6.000	80-160
COD	3.000-60.000	18.000	100-500
TSS	200-2.000	500	100-400
Οργανικό άζωτο	10-800	200	80-120
Αμμωνιακό άζωτο	10-800	200	20-40
νιτρικά	5-40	25	5-10
Ολικός φώσφορος	5-100	30	5-10
Ορθοφωσφορικά	4-80	20	4-8
Αλκαλικότητα- CaCO <sub>3</sub>	1.000-10.000	3.000	20-1.000
PH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Ολική σκληρότητα - CaCO <sub>3</sub>	300-10.000	3.500	200-500
Ασβέστιο	200-3.000	1.000	100-400

Μαγνήσιο	50-1.500	250	50-200
Κάλιο	200-1.000	300	50-400
Νάτριο	200-2.500	500	100-200
Χλώριο	200-3.000	500	100-400
Θειικά άλατα	50-1.000	300	20-50
Ολικός Σίδηρος	50-1.200	60	20-200

<sup>1</sup>Τυπικές τιμές διακύμανσης. Στην βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί και υψηλότερες μέγιστες τιμές.

<sup>2</sup> Οι τυπικές τιμές για νέους ΧΥΤΑ ποικίλουν ανάλογα με την βιοαποδόμηση που λαμβάνει χώρα.

Λόγω της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των παραμέτρων, ιδιαίτερα για τους νέους ΧΥΤΑ, θα πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά τη χρήση των τυπικών τιμών.

Η χημική σύσταση των στραγγισμάτων ποικίλει σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενη από την ηλικία του ΧΥΤΑ και των γεγονότων που έχουν προηγηθεί της διαδικασίας της δειγματοληψίας. Για παράδειγμα αν ένα δείγμα έχει ληφθεί κατά την φάση III (από την εικόνα 2.2) τότε η τιμή του pH θα είναι χαμηλή ενώ οι τιμές των συγκεντρώσεων των BOD<sub>5</sub>, TOC, COD, θρεπτικών και των βαρέων μετάλλων θα είναι πολύ υψηλές. Αν ωστόσο η δειγματοληψία γίνει κατά τη διάρκεια της φάσης IV τότε η τιμή του pH θα κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 6,5-7,5 και οι τιμές των BOD<sub>5</sub>, TOC, COD και των θρεπτικών θα είναι αισθητά χαμηλότερες. Όμοια και οι τιμές στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων θα είναι χαμηλές καθώς τα περισσότερα μέταλλα είναι λιγότερο διαλυτά σε ουδέτερες τιμές του pH. Η τιμή του pH εξαρτάται όχι μόνο από την παρουσία των οξέων αλλά και από την μερική πίεση του CO<sub>2</sub> που βρίσκεται στο βιοαέριο και είναι σε επαφή με τα στραγγίσματα.

Η βιοαποδομησιμότητα των στραγγισμάτων είναι συνάρτηση του χρόνου. Η μεταβολή στην βιοαποδομησιμότητα μπορεί να ελεγχθεί από την μεταβολή του λόγου BOD<sub>5</sub>/COD. Αρχικά η τιμή του λόγου είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0,5. Λόγοι που κυμαίνονται κοντά στην περιοχή 0,4-0,6 αποτελούν ένδειξη ότι η οργανική ύλη του στραγγίσματος είναι εύκολα βιοαποδομήσιμη. Σε παλαιούς ΧΥΤΑ, η τιμή του λόγου BOD<sub>5</sub>/COD κινείται συνήθως στην περιοχή 0,05-0,2. Ο λόγος αυτός είναι μειωμένος γιατί τα διασταλλάγματα των ώριμων ΧΥΤΑ περιέχουν φουλβικά και χουμικά οξέα τα οποία είναι χαμηλής βιοαποδομησιμότητας.[11]

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τιμές παραμέτρων διασταλλαγμάτων από μετρήσεις που έγιναν σε ΧΥΤΑ στον Ελλαδικό χώρο. Οι τιμές είναι δυνατόν να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις από τις τιμές της διεθνούς βιβλιογραφίας λόγω κυρίως της διαφορετικής σύστασης των απορριμμάτων στην Ελλάδα.

Πίνακας 4.2: Τιμές σύστασης των στραγγισμάτων στην Ελλάδα [31]

Παράμετροι	Αθήνα	Πάτρα	Θεσσαλονίκη	
			παλαιά	νέα
pH	8-8,5		7,3-8,8	4,9-6,7
Αγωγιμότητα			6,2-34	23-35,5
Θολότητα			76-1150	110-2700
Χρώμα	2720-9375		955-15142	6250-20000
Αλκαλικότητα	1100-3500		923-88070	3540-26200
TS	9000-19600		3100-18000	32100-77000
DS	8740-191250		3800-21800	31200-76000
SS	90-470	105-1220	10-5900	400-1900
Cl <sup>-</sup>	760-2350		1162-9209	580-10100
N-NH <sub>4</sub>	474-3870	784-2744	39-1750	1400-10250
Total Kjeldahl N			370-1800	2023-10558
Total P	5-15	14,4-24,9	1,27-19,9	1,6-655
COD	3000-8810	3940-22930	685-15000	44000-115000
BOD	450-1150		50-4200	9500-80795
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14-91		2,5-300	40-840
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	70-350		55-500	400-2500
Fe	5-22,2		0,11-25	146-160
Mn			0,5-0,42	13,22-16,2
Zn <sup>-</sup>		0,012-0,145	0,07-0,20	1,2-36,0
Cr	0,7-2,84	0,045-0,235	0,20-0,20	0,01-3,7
Cu	0,09-0,28	0,098-0,356	0,10-0,53	0,18-6,0
Ni	0,67-1,35	0,056-0,903	0,08-5,1	0,20-7,8
Cd		0,015-0,079	< αν. ορίου	0,02-6,5
Pb		0,038-0,467	< αν. ορίου	0,23-2,1
Ca <sup>+2</sup>			3,8-138	1727-3324
Mg <sup>+2</sup>	85,2-140		0,02-193	285-443

Η παραγωγή διασταλλαγμάτων από χώρο απόθεσης ΑΣΑ μπορεί να αποτελέσει σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα στην περίπτωση που δεν υπάρχει σωστή συλλογή και γενικότερα διαχείρισή τους.

Αρκετές είναι οι παράμετροι που εμπλέκονται στην ποιότητα και την ποσότητα των διασταλλαγμάτων που προκύπτουν από ένα χώρο. Οι παράγοντες αυτοί είναι συνοπτικά, η ετήσια βροχόπτωση, απορροή, διήθηση, εξατμισοδιαπνοή, μέση θερμοκρασία, σύνθεση, ειδικό βάρος ΑΣΑ, αρχική περιεχόμενη υγρασία και βάθος



του χώρου απόθεσης. [32]

Η βασική πηγή της υγρασίας στα απορρίμματα είναι η βροχόπτωση που συμβαίνει πάνω από το ΧΥΤΑ. Ένα τμήμα της υγρασίας καταλήγει σε επιφανειακή απορροή, άλλο τμήμα επιστρέφει στην ατμόσφαιρα σε μορφή εξατμισοδιαπνοής από το έδαφος και από τη βλάστηση ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε υγρασία του εδάφους. Όταν η υγρασία υπερβεί την υδατοχωρητικότητα του εδάφους διεισδύει κάτω στον όγκο των απορριμμάτων. Η συνεχής προσθήκη ύδατος στον απορριμματικό όγκο έπειτα από κάποια περίοδο έχει σαν συνέπεια τον κορεσμό τους οπότε και η υγρασία εμφανίζεται με την μορφή των στραγγισμάτων. Ο ρυθμός της υγρασίας που διεισδύει στα απορρίμματα μετά την αρχική καθυστέρηση είναι ίσος με το ρυθμό παραγωγής των στραγγισμάτων.

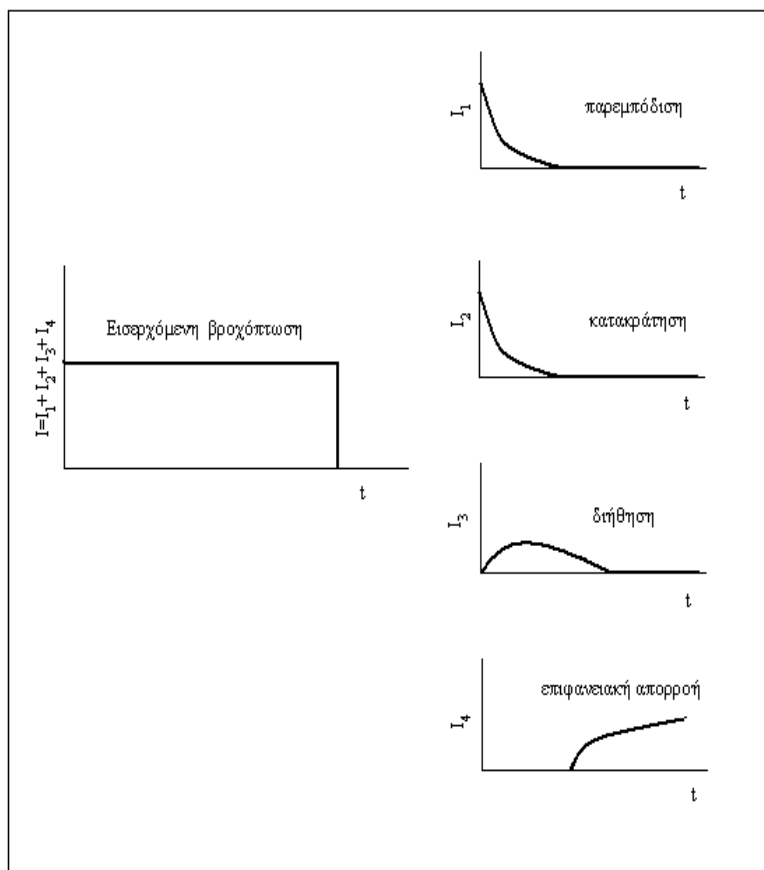
Σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν τον ρυθμό διείσδυσης είναι η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή, η απορρόφηση και η μέγιστη υδατοχωρητικότητα του εδάφους και των ΑΣΑ.

#### 4.2 ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

Η έννοια περιλαμβάνει κάθε μορφή ύδατος που καταλήγει από την ατμόσφαιρα στην υπό μελέτη περιοχή, όπως για παράδειγμα βροχή, χιόνι και χαλάζι. Η τιμή της βροχόπτωσης ποικίλει ανάλογα με την γεωγραφία της περιοχής και ανάλογα με την εποχή, για το λόγο αυτό θα πρέπει τα δεδομένα βροχόπτωσης να προέρχονται από κοντινό στην τοποθεσία μετεωρολογικό σταθμό για να είναι αξιόπιστα.[33]

Το νερό των κατακρημνισμάτων ακολουθεί διάφορες διαδρομές στην πορεία του προς την επιφάνεια της γης.

- αρχικά συναντά επιφάνειες που αναχαιτίζουν τη πορεία του, όπως είναι τα δέντρα, τα φυτά, το γρασίδι και οι διάφορες κατασκευές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παρεμπόδιση,
- το νερό που υπερβαίνει την ικανότητα παρεμπόδισης αρχίζει να γεμίζει επιφανειακές κοιλότητες (κατακράτηση),
- ένα φιλμ νερού σχηματίζεται επίσης, στην επιφάνεια του εδάφους. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως εδαφική συγκράτηση,
- μέρος αυτού του νερού εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται και αρχίζει να κινείται στο έδαφος δημιουργώντας το φαινόμενο της διήθησης.



Εικόνα 4.3: Διάκριση της εισερχόμενης βροχόπτωσης σε παρεμπόδιση, κατακράτηση, διήθηση και επιφανειακή απορροή [33]

### 4.3 ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Το ποσοστό της υγρασίας που είναι διαθέσιμο για εξατμισοδιαπνοή σε ένα ΧΥΤΑ επηρεάζεται από τον τύπο του εδάφους και από την βλάστηση. Ένα επιθυμητό στοιχείο κατά το σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ είναι η αύξηση της εξατμισοδιαπνοής σε μια προσπάθεια μείωσης της παραγωγής των στραγγισμάτων. [32] Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής όπως αυτές των Blaney-Criddle, Blaney Morin, Turk, Jensen Haise κ.τ.λ. Ωστόσο, οι πλέον χρησιμοποιούμενες είναι αυτές των Thornthwaite και Penman.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά τρεις από τις μεθοδολογίες υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής καθώς στο τέλος του κεφαλαίου χρησιμοποιούνται στην εξέλιξη των σεναρίων.

#### 4.3.1 Penman – Monteith

Χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ενεργειακού ισοζυγίου και της μεθόδου "συντελεστή μαζικής μεταφοράς" για την θερμότητα και τους υδρατμούς, ο Penman (1948) παρήγαγε μια σχέση προσδιορισμού της εξάτμισης πάνω από ελεύθερο νερό

και κορεσμένες επιφάνειες γης. Η εξίσωση του Penman είτε στην αρχική είτε στην ελαφρά τροποποιημένη της μορφή έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα για την εκτίμηση της δυναμικής εξάτμισης ή εξατμισοδιαπνοής, ειδικά σε υδρολογικές και γεωργικές εφαρμογές. [34]

Εδώ παρουσιάζεται η τροποποιημένη Penman (Penman - Monteith) καθώς φαίνεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα στις περιπτώσεις εξάτμισης από εδάφη.

Η εξάτμιση σε μονάδες μάζας ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου δίνεται από τη εξίσωση

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{Rn}{\lambda} + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} F(u)D \quad (\text{εξ.4.1})$$

i)  $\Delta$  η κλίση καμπύλης πίεση κορεσμού υδρατμών:

$$\Delta = \frac{4098e^*}{(T + 237,3)^2}, \text{ hPa}/^\circ\text{C}$$

η πίεση κορεσμού των υδρατμών

$$e^* = 6.11 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237,3}\right), \text{ hPa}$$

και  $T$  η θερμοκρασία του αέρα σε  $^\circ\text{C}$

ii)  $\gamma'$  συντελεστής

$$\gamma' = \gamma \cdot (1 + 0,33u)$$

ο ψυχομετρικός συντελεστής  $\gamma = \frac{c_p \cdot p}{e \cdot \lambda}$ , hPa/ $^\circ\text{C}$

η ειδική θερμότητα (αέρα για σταθερή πίεση)  $c_p = 1,013 \text{ kJ/kg}/^\circ\text{C}$

η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης  $\lambda = 2501 - 2,361T_s$ , kJ/kg

όπου  $T_s$  η θερμοκρασία στην επιφάνεια του νερού σε  $^\circ\text{C}$

η ατμοσφαιρική πίεση σε  $p = 1013 \cdot (1 - 2.218 \cdot 10^{-5} Z)^{5,256}$ , hPa

όπου  $Z$  το υψόμετρο σε m

iii) Το αλγεβρικό άθροισμα των εισερχόμενων – εξερχόμενων ακτινοβολιών ισούται με  $R_n = S_n - L_n$ , όπου  $S_n$  το αλγεβρικό άθροισμα εισερχόμενης – ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας και  $L_n$  η καθαρή ακτινοβολία.

Το αλγεβρικό άθροισμα της εισερχόμενης – ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας

$$S_n = (1 - \tau) \cdot S_0 \cdot (0,29 \cos \phi + 0,55n/N), \text{ kJ/m}^2/\text{d}$$

$S_0$  εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία, kJ/m<sup>2</sup>/ημέρα.

Πίνακας 4.3: Μέσες μηνιαίες τιμές της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας  $S_0$  σε  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \text{d})$  για γεωγραφικά πλάτη ( $\varphi$ )  $36^\circ - 46^\circ$  στο Βόρειο Ημισφαίριο [33]

Μήνας	Γεωγραφικό πλάτος $\varphi(^{\circ})$					
	36	38	40	42	44	46
Ιανουάριος	17604	16383	15156	13926	12696	11470
Φεβρουάριος	22349	21230	20092	18935	17762	16575
Μάρτιος	28967	28100	27198	26265	25300	24305
Απρίλιος	35447	34964	34441	33878	33278	32641
Μάιος	39820	39711	39564	39380	39161-	38908'
Ιούνιος	41571	41658	41711	41730	41718	41677
Ιούλιος	40725	40731	40701	40637	40539	40410
Αύγουστος	37255	36942	36590	36199	35771	35306
Σεπτέμβριος	31510	30800	30053	29271	28453	27601
Οκτώβριος	24651	23624	22571	21494	20395	19274
Νοέμβριος	18879	17689	16488	15279	14065	12849
Δεκέμβριος	16230	14993	13755	12519	11289	10069

$r$ : η λευκαύγεια, λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολίας (albedo)

$n$ : η μέση παρατηρηθείσα ηλιοφάνεια ανά ημέρα,  $h$

$N$ : η μέση μηνιαία τιμή της αστρονομικής διάρκειας της ημέρας ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος,  $h$

Πίνακας 4.4: Μέσες μηνιαίες τιμές της αστρονομικής διάρκειας ημέρας  $N$  σε ώρες για γεωγραφικά πλάτη ( $\varphi$ )  $36^\circ - 46^\circ$  στο Βόρειο Ημισφαίριο [33]

Μήνας	Γεωγραφικό πλάτος $\varphi(^{\circ})$					
	36	38	40	42	44	46
Ιανουάριος	9,8	9,7	9,5	9,3	9,1	8,9
Φεβρουάριος	10,6	10,5	10,4	10,3	10,2	10,1
Μάρτιος	11,7	11,7	11,7	11,7	11,6	11,6
Απρίλιος	12,9	13,0	13,0	13,1	13,2	13,3
Μάιος	13,9	14,0	14,2	14,4	14,5	14,7
Ιούνιος	14,4	14,6	14,8	15,0	15,2	15,5
Ιούλιος	14,2	14,4	14,5	14,7	14,9	15,2
Αύγουστος	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9
Σεπτέμβριος	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	12,3
Οκτώβριος	11,1	11,0	10,9	10,8	10,7	10,7
Νοέμβριος	10,1	9,9	9,8	9,6	9,4	9,2
Δεκέμβριος	9,6	9,4	9,2	9,0	8,8	8,5

Η καθαρή μακροκυματική ακτινοβολία  $L_n$  δίνεται από την εξίσωση

$$L_n = \varepsilon_n \cdot f_L \cdot \sigma \cdot (T + 273)^4$$

$\sigma$  σταθερά Stefan Boltzman  $\sigma = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}^4\text{d})$ ,

καθαρή ικανότητα θερμικής εκπομπής  $\varepsilon_n = a_e - b_e \sqrt{e}$

$a_e = 0,56$  και  $b_e = 0,08$  συντελεστές κατά Penman

η τάση ατμών  $e = U \cdot e_s$ , hPa (U σχετική υγρασία, %)

συντελεστής επίδρασης νέφωσης  $f_L = a_L + b_L \cdot n/N$

$a_L = 0,1$  και  $b_L = 0,9$  συντελεστές κατά Penman

iv)  $F(u)$  συνάρτηση ανέμου για οποιαδήποτε πυκνότητα και πίεση

$$F(u) = \frac{90}{T + 275} u, \text{ (kg}/(\text{hPa m}^2\text{d}))$$

$u$  (m/s), η ταχύτητα του ανέμου 2m από την επιφάνεια του εδάφους.

v)  $D$  το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών προκύπτει από την εξίσωση

$$D = e_s - e$$

### 4.3.2 Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) περιέγραψε την βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της  $ET_p$ . [31] Η μέθοδος Thornthwaite για την εκτίμηση μηνιαίων τιμών της  $ET_p$  δίνεται από τη σχέση

$$ET_p = 16 \left( \frac{I_1}{12} \right) \cdot \left( \frac{10T_i}{I} \right)^a \cdot \left( \frac{N}{30} \right) \quad (\text{εξ.4.2})$$

όπου

$ET_p$ : η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/μήνα)

$I_1$ : οι πραγματικές ώρες της ημέρας (hr)

$T_i$ : η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ )

$N$ : ο αριθμός των ημερών του μήνα

$a$ : μια εμπειρική παράμετρος που εξαρτάται από τον δείκτη  $I$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49$$

ή  $a = 0,16 \cdot I + 0,5$

$I$ : είναι ένας δείκτης θερμότητας που αποτελεί το άθροισμα των 12 μηνιαίων τιμών του δείκτη  $I$  που υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$I = \sum_1^{12} i, \quad i = \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

### 4.3.3 Blaney Criddle

Η διαδικασία που ακολουθείται στην περίπτωση αυτή είναι παρεμφερής με αυτήν της μεθόδου του Thorwaite. [34] Η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή θα δίδεται από τη σχέση:

$$ET = k \frac{(1,8T + 32)}{3,94} \quad (\text{εξ.4.3})$$

όπου k: ο συντελεστής καλλιέργειας

t: η μηνιαία θερμοκρασία, °C

N: η μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας

Για τα ευρωπαϊκά κλίματα η μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί από τον Thornwaite φαίνεται να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. [35]

Τα μοντέλα αυτά είναι εμπειρικά και έχουν αναπτυχθεί για εδάφη τα οποία φέρουν καλλιέργειες.

## 4.4 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Σε περιόδους με έλλειψη νερού (ξηρές περίοδοι) η εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη της δυνητικής και ονομάζεται πραγματική. [35] Υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη σταδιακή αφυδάτωση του εδάφους χρησιμοποιώντας τη σχέση του Benfratello:

$$\frac{da}{d\lambda} = \alpha^m \quad (\text{εξ.4.4})$$

όπου m = συντελεστής αντίστασης στον ‘αποκορεσμό’

$\alpha = A/U$ , λόγος της πραγματικής εισροής του νερού A στο έδαφος και της μέγιστης τιμής του U που μπορεί να εισέλθει στο έδαφος.

Το U αντιπροσωπεύει το μέγιστο όγκο του νερού σε mm που το έδαφος (πάχους h) στο οποίο βρίσκονται οι ρίζες των φυτών, μπορεί να περιέχει αφ’ ότου αυτό θα έχει διηθηθεί λόγω της βαρύτητας. Εκφράζει επίσης την υδατοχωρητικότητα  $\theta_{ms}$  του εδάφους σύμφωνα με τη σχέση:

$$U = \theta_{ms} \cdot \frac{\gamma_i}{\gamma} \cdot h \quad (\text{εξ.4.5})$$

όπου  $\gamma_i$  και  $\gamma$  είναι το ειδικό βάρος του ξηρού εδάφους και νερού αντίστοιχα.

Το λ είναι ο λόγος L/U όπου  $L = (P - R) - PE$  και

P: η βροχόπτωση,

R: η επιφανειακή απορροή

PE: δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Το  $\lambda$  εκφράζει το έλλειμμα ως μια συνεχή συνάρτηση ορισμένη σε μια ξηρή περίοδο και συνεπώς πάντα αρνητική.

Η ολοκλήρωση της εξίσωσης 4.4 δίνει

$$\alpha = [\alpha_0^{(1-m)} + (1-m)\lambda]^{1/m}, \text{ για } m > 1 \quad (\text{εξ.4.6})$$

$$\alpha = \alpha_0 e^\lambda, \text{ για } m = 1$$

Το  $\alpha_0$  εκφράζει την τιμή  $A/U$  στην έναρξη τη ξηρής περιόδου. Ο υπολογισμός του  $\alpha$  και συνεπώς του  $A$  η διαφορά ‘ $\Delta A$ ’ μεταξύ δυο διαδοχικών μηνών, κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, αθροισμένο μείον την απορροφή. Συνεπώς

$$ET_{\text{dry}} = P - R + \Delta A \quad (\text{εξ.4.7})$$

Διάφορες τιμές του  $U$  παρουσιάζονται στον πίνακα Π.1 του παραρτήματος Π.

Η διαδικασία προϋποθέτει πως η τιμή  $\alpha_0$  (και επομένως η τιμή  $A$  κατά την έναρξη της ξηρής περιόδου) είναι γνωστή. Συνήθως θεωρείται  $\alpha_0 = 1$ , που σημαίνει πως  $A_0 = U$  και πως το πλεόνασμα της προηγούμενης υγρής περιόδου, έχει πληρώσει τον όγκο  $U$ . Η υπόθεση αυτή είναι γενικά βάσιμη για όλα τα ευρωπαϊκά κλίματα για τιμές του  $U$  που δεν υπερβαίνουν τα 300mm, ενώ δεν ισχύει για ημί-ξηρα ή τροπικά κλίματα. Ο εκθέτης  $m$ , από πειραματικές μετρήσεις φαίνεται να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,25 και 1,75 για αγροτικές εκτάσεις με καλλιέργειες αραβοσίτου ( $U=105\text{mm}$ ).

Σε άλλες μελέτες θεωρείται πως η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί σταθερό ποσοστό της δυνητικής. Στις [15] και [36] το ποσοστό αυτό θεωρείται ίσο με 70%.

#### 4.5 ΕΞΑΤΜΙΣΗ

Δεν υπάρχουν αρκετές λεπτομερείς μεθοδολογίες στην βιβλιογραφία για την εκτίμηση της εξάτμισης από εδάφη χωρίς βλάστηση. [35] Για κορεσμένα εδάφη όπως για παράδειγμα εκτάσεις μετά από μεγάλης έντασης ή διάρκειας βροχόπτωση έχει προταθεί η χρήση ρυθμών εξάτμισης όπως υπολογίζονται από ρηχές λεκάνες απορροής, χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο συντελεστή.

1-λεπτή άμμος,

0,9-πηλώδες έδαφος,

0,75-0,95-άργιλος.

Υποθέτοντας πως το έδαφος είναι κορεσμένο η διαδικασία είναι πιθανώς, ορθή για τους χειμερινούς μήνες ή για βροχερές περιόδους. Κατά τις ξηρές περιόδους ωστόσο ή για περιόδους με χαμηλή βροχόπτωση, το ανώτερο τμήμα του εδάφους έχει την τάση να ξηραθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα προκαλώντας μείωση στην εξατμισοδιαπνοή. Ένα ακόρεστο έδαφος μπορεί να αντιπροσωπευθεί από τη σχέση του Turc για έδαφος χωρίς βλάστηση:

$$E = \frac{P + w}{\sqrt{\{1 + [(P + w)/L]\}}} \quad (\text{εξ.4.8})$$

όπου

E: εξάτμιση σε 10 ημέρες (mm)

P: βροχόπτωση σε 10 ημέρες (mm)

w: μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να εξατμιστεί από το έδαφος σε 10 ημέρες απουσία βροχόπτωσης, που ποικίλει από 10mm για υγρά εδάφη έως και 1m για ξηρά εδάφη.

L: συντελεστής ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{(T + 2)I_g}{16} \quad (\text{εξ.4.9})$$

όπου T η μέση θερμοκρασία του αέρα σε °C.

$I_g$ : ενεργή ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{cal}/\text{cm}^2$  ανά ημέρα)

Το  $I_g$  ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος

$I_g = I_o (0,135 + 0,68n/N)$ , για ημέρες με νέφωση και τιμές του  $n/N < 40$

$I_g = I_o (0,155 + 0,69n/N)$ ,  $54,5 < \text{γεωγραφικά πλάτη} < 56$

$I_g = I_o (0,16 + 0,62n/N)$ ,  $45 < \text{γεωγραφικά πλάτη} < 54,5$

$I_g = I_o (0,18 + 0,662n/N)$ ,  $35 < \text{γεωγραφικά πλάτη} < 45$

Τιμές του  $I_o$  παρουσιάζονται στον πίνακα Π.2 του παραρτήματος Π.

Όσον αφορά ένα χώρο απόθεσης η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για κατά προσέγγιση εκτιμήσεις.

## 4.6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Πρόκειται για το τμήμα της βροχόπτωσης που απορρέει επιφανειακά από το χώρο πριν προλάβει να διηθηθεί. Το ποσοστό της επιφανειακής απορροής εξαρτάται από την ισχύ και τη διάρκεια της βροχόπτωσης, την κλίση της επιφανειακού εδάφους, την διαπερατότητα του εδαφικού καλύμματος και από το ποσοστό και τον τύπο της βλάστησης. Ποικίλες μέθοδοι υπάρχουν που υπολογίζουν την απορροή και περιλαμβάνουν μετρήσεις επί τόπου και εμπειρικές σχέσεις. [32]

### 4.6.1 Rational method

Στηρίζεται στη γενική σχέση:

$$R = c \cdot P \quad (\text{εξ.4.10})$$

όπου

R και P: η επιφανειακή απορροή και η βροχόπτωση αντίστοιχα και

c: εμπειρική σταθερά που συνήθως αναφέρεται ως συντελεστής απορροής.

Υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις με λεπτομερείς τιμές για το c, αλλά στην πλειοψηφία τους οι μελέτες αυτές αναφέρονται στη μέγιστη ροή κατά τη διάρκεια σύντομης αλλά έντονης βροχόπτωσης. Είναι φανερό πως αυτό οδηγεί σε μια υπερεκτίμηση της απορροής από ένα χώρο στην περίπτωση στην περίπτωση που



χρησιμοποιούνται μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης. Όμοια αν χρησιμοποιούνται μόνο δεδομένα μέγιστης βροχόπτωσης (αιχμής), η απορροή κατά τη διάρκεια μεγάλων περιόδων μικρής έντασης βροχόπτωσης δεν θα υπολογιστούν τελικά, παρά το γεγονός πως οι ποσότητες αυτές μπορεί να είναι σημαντικές. [32]

Η τιμή του συντελεστή απορροής μπορεί να ποικίλει, ενώ ένας πίνακας που δείχνει κάποιες ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάλογα με την τοπογραφία και τον τύπο του εδάφους (τρεις τιμές από 3 διαφορετικές πηγές) είναι ο 4.5.

Πίνακας 4.5: Τιμές του συντελεστή απορροής [37]

Τύπος εδάφους	Συντελεστής απορροής								
	Κλίση<2%			κλίση 2-10%			κλίση>10%		
γυμνό (χώμα ή λάσπη)	0,60	0,60	0,60	0,66	0,70	0,70	0,70	0,82	0,80
λιβάδι ή βοσκότοποι (χώμα ή λάσπη)	0,25	0,30	0,35	0,30	0,36	0,45	0,35	0,42	0,55
καλλιεργήσιμο – αδιαπέραστο (χώμα-πηλός)	0,50	0,40	0,50	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	0,70
καλλιεργήσιμο – διαπερατό (αμμώδες)	0,25	0,10	0,20	0,30	0,16	0,30	0,35	0,22	0,40

Οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από ένα απλοποιημένο σκεπτικό καθώς δεν περιλαμβάνεται η ένταση της βροχόπτωσης και ο βαθμός κορεσμού του εδάφους. Έτσι λοιπόν όταν το έδαφος είναι κορεσμένο σε νερό η επιφανειακή απορροή θα είναι χαμηλότερη. Ωστόσο, είναι συνήθης η χρήση αυτών των συντελεστών σαν ένα πρακτικό εργαλείο τόσο από υδρογεωλόγους όσο και από μηχανικούς. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η χρήση του MORECS (Meteorological Office's Rainfall and Evaporation Calculation System) δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της αλλαγής της περιεκτικότητας του εδάφους σε υγρασία και την επίδραση αυτής στην δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

#### 4.6.2 Μέθοδος SCS-CN

Μια μέθοδος εκτίμησης της απορροής είναι η SCS CN (Soil Conservation Service Runoff Curve Number). [38]

Η μέθοδος SCS –CN αναπτύχθηκε από δεδομένα βροχόπτωσης απορροής μεγάλων καταϊγίδων οι οποίες έλαβαν χώρα σε μικρές λεκάνες απορροής. Η απορροή παραστάθηκε γραφικά συναρτήσει της βροχόπτωσης.

Η αρχική σχέση που δίνει την απορροή είναι:

$$Q = P' - S' \quad (\text{εξ.4.11})$$

όπου

Q: η πραγματική βροχόπτωση

P': η μέγιστη δυνητική απορροή

S': η μέγιστη δυνητική συγκράτηση μετά την έναρξη της απορροής

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P'} \quad (\text{εξ.4.12})$$

όπου

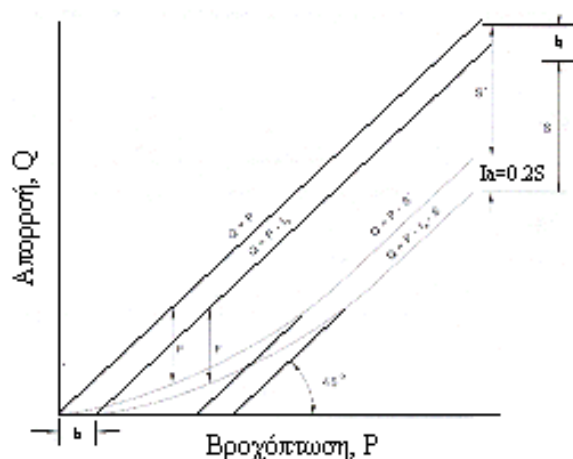
F: η πραγματική κατακράτηση μετά την έναρξη της απορροής

$$F = P' - Q \quad (\text{εξ.4.13})$$

Από τις εξισώσεις (4.12) και (4.13) προκύπτει  $\frac{P' - Q}{S'} = \frac{Q}{P'}$  (εξ.4.14)

Αν θεωρηθεί πως υπάρχει αρχική απορρόφηση η καμπύλη απορροής μετακινείται προς τα δεξιά. Όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα από την ποσότητα της βροχόπτωσης που συμβαίνει προτού ξεκινήσει η απορροή. Το ποσό αυτό της βροχόπτωσης ορίζεται ως αρχική απορρόφηση  $I_a$ . Η προσαρμογή της εξίσωσης (εξ.4.14) στην αρχική απορρόφηση, γίνεται με την αφαίρεση αυτής της ποσότητας από την βροχόπτωση.

$$P' = P - I_a \quad (\text{εξ.4.15})$$



Εικόνα 4.4: Σχέση μεταξύ Απορροής, Βροχόπτωσης και Συγκράτησης [39]

Από τις εξισώσεις (4.14) και (4.15)

$$\frac{P - I_a - Q}{S'} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (\text{εξ.4.16})$$

όπου

P: η πραγματική βροχόπτωση

Από την εικόνα 4.4 φαίνεται πως  $S=S'$  (4.17)

Επιπλέον, εμπειρικά έχει διαπιστωθεί πως ισχύει  $I_a=0,2S$  (εξ.4.18)

Από τις εξισώσεις (4.16), (4.17) και (4.18) προκύπτει η εξίσωση Q

$$\frac{P - 0.2S - Q}{S} = \frac{Q}{P - 0.2S} \quad (\text{εξ.4.19})$$

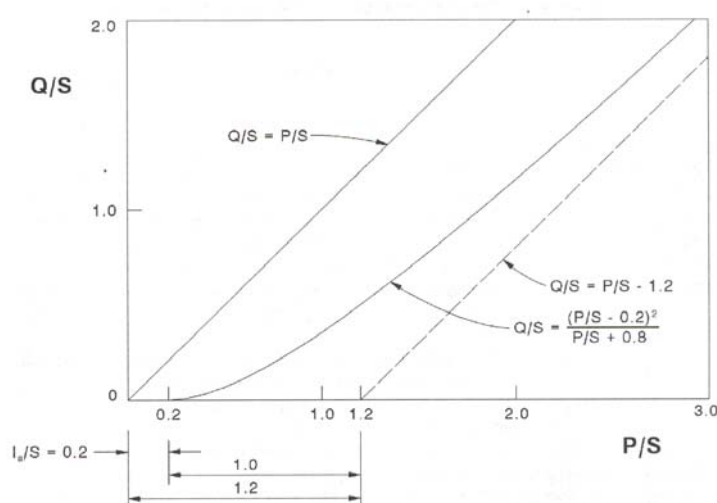
Επιλύοντας την εξίσωση (4.19) ως προς Q παράγεται η εξίσωση (4.20)

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (\text{εξ.4.20})$$

Η γραμμικοποίηση της εξίσωσης αυτής θα δώσει την εξίσωση

$$\frac{Q}{S} = \frac{P}{S} - 1,2 - \frac{1,0}{\frac{P}{S} + 0,8} \quad (\text{εξ.4.21})$$

από την οποία προκύπτει η επόμενη γραφική παράσταση.



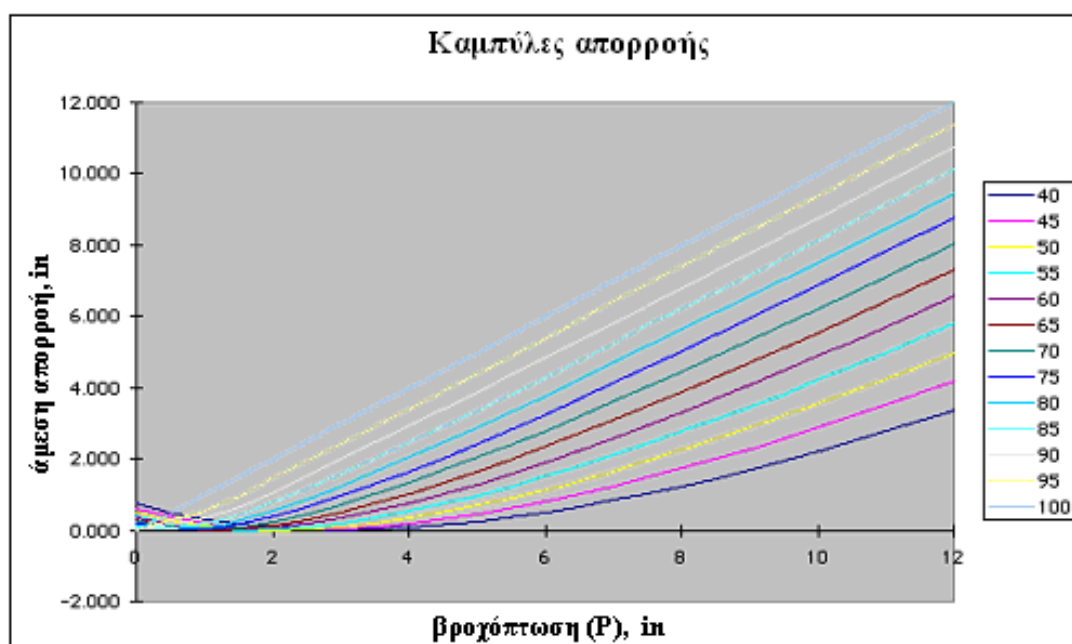
Εικόνα 4.5: SCS Σχέση βροχόπτωσης απορροής ‘ομαλοποιημένες’ βάσει της παραμέτρου S

Η παράμετρος S μετατρέπεται στην παράμετρο CN μέσω της σχέσης (4.21)

$$CN = \frac{1000}{S + 10} \Rightarrow S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{εξ.4.21})$$

Το S για ένα δεδομένο έδαφος ποικίλει ανάλογα με την υγρασία αυτού ως ακολούθως.

- την ομάδα υδρολογικού τύπου εδάφους. Τα εδάφη διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες. Ο τύπος A αντιστοιχεί σε εδάφη τα οποία απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού και αποστραγγίζονται εύκολα, (άμμος, χαλίκι). Αντίθετα τα εδάφη τύπου D δεν απορροφούν νερό και έχουν πολύ μεγάλο βαθμό απορροής τον τύπο κάλυψης του εδάφους (π.χ. το είδος των φυτών που καλύπτουν το έδαφος),
- το είδος της δραστηριότητας που μπορεί να πραγματοποιείται σε αυτά και
- την υδρολογική του κατάσταση η οποία αναφέρεται στη συνοχή του εδάφους και πόσο εύκολα απορρέει από αυτό το νερό. Εδάφη με χαμηλή υδρολογική κατάσταση είναι πιο πιθανόν να έχουν μεγαλύτερη απορροή.



Εικόνα 4.6: Καμπύλες απορροής [38]

#### 4.7 ΔΙΗΘΗΣΗ

Η συνιστώσα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για ένα ΧΥΤΑ καθώς καθορίζει το ποσοστό του υγρού που διεισδύει μέσω του υλικού εδαφικής κάλυψης και των απορριμμάτων. Η διήθηση από το εδαφικό υλικό μπορεί να περιοριστεί περαιτέρω από την βλάστηση. Ο τύπος του νερού που διηθείται μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες στο νερό που αρχικά λαμβάνει το χώρο που καταλαμβάνει ο αέρας στο έδαφος και στη συνέχεια λόγω της βαρυτικής δύναμης οδηγείται προς τα κάτω και στο νερό που κατακρατείται λόγω των τριχοειδών φαινομένων και παραμένει μετά την αποστράγγιση λόγω της βαρύτητας. Όταν στο έδαφος υπάρχει ο μέγιστος όγκος νερού που μπορεί να κρατηθεί εξαιτίας των τριχοειδών φαινομένων τότε το έδαφος

βρίσκεται στη μέγιστη υδατοχωρητικότητά του. Όταν το έδαφος στεγνώνει τότε η εξάτμιση είναι μικρότερη της δυνητικής και εμφανίζεται ένα έλλειμμα στην υγρασία του εδάφους.

Μια μεγάλη αναλογία της βροχόπτωσης σε μήνες χαμηλής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στην περίοδο του χειμώνα θα παράγει μεγαλύτερο ποσοστό ενεργής βροχόπτωσης συγκριτικά με ένα χρόνο με περισσότερη ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης.

Τα ποσοστά αυτά μπορούν να χαρακτηρισθούν τυπικά για ένα ΧΥΤΑ κατά την περίοδο λειτουργίας οπότε η επιφανειακή απορροή είναι ελάχιστη. Η αναλογία διήθησης βροχόπτωσης φτάνει το 50% ενώ η εποχιακή διακύμανση κυμαίνεται από 20-70% το καλοκαίρι και το χειμώνα αντίστοιχα. Τυπικές τιμές διήθησης για ΧΥΤΑ μετά το πέρας της λειτουργίας τους κυμαίνονται από 14-34% της ετήσιας βροχόπτωσης. [37]

Καθώς στους ΧΥΤΑ υπάρχουν κοίτες και σπηλαιώματα η επιφανειακή απορροή δεν συμβαίνει ελεύθερα όπως συμβαίνει σε φυσικά καλύμματα εδάφους. Η χρήση συγκεκριμένων συντελεστών απορροής λοιπόν μπορεί να οδηγήσει σε μια υπερεκτίμηση της επιφανειακής απορροής και σε μεγάλο βαθμό να υποτιμήσουν τον όγκο της διήθησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι συντελεστές επιφανειακής απορροής για ΧΥΤΑ κυμαίνονται από 0,07-0,2.

Εάν θεωρηθεί πως το ανώτατο υλικό κάλυψης των ΑΣΑ είναι κορεσμένο, πως ένα λεπτό στρώμα νερού διατηρείται στην επιφάνεια και πως δεν υπάρχει αντίσταση προκειμένου να ρέει το νερό κάτω από το υλικό κάλυψης τότε η θεωρητική ποσότητα νερού που μπορεί να εισέλθει στο ΧΥΤΑ ανά μονάδα επιφάνειας σε μια περίοδο 24 ωρών για διάφορα υλικά κάλυψης δίδεται από τον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.6: Τυπικές τιμές συντελεστή διαπερατότητας για διάφορα εδάφη [11]

Υλικό	Συντελεστής διαπερατότητας, K $m^3/m^2 \cdot d$
Ομοιόμορφη χονδρόκοκκη άμμος	406,77
Ομοιόμορφη ενδιάμεση άμμος	101,59
Καθαρή καλά διαβαθμισμένη άμμος και χαλίκι	101,59
Ομοιόμορφη λεπτή άμμος	4,08
Καλά διαβαθμισμένη λασπώδης άμμος και χαλίκι	0,3958
Λασπώδης άμμος	0,0914
Αμμώδης άργιλος	0,00489
Λασπώδης άργιλος	0,00090

Κολλοειδής άργιλος	$8,98 \cdot 10^{-7}$
--------------------	----------------------

Οι παραπάνω τιμές είναι θεωρητικές αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση που θα πρέπει να εκτιμηθεί η χειρότερη περίπτωση. Στην πραγματικότητα η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο ΧΥΤΑ εξαρτάται από τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες, το σχεδιασμό της κάλυψης, την κλίση και την τελική αποκατάσταση του χώρου. Η διήθηση μέσα από το υλικό κάλυψης μπορεί να εκτιμηθεί από ένα υδατικό ισοζύγιο. Η εξίσωση θα είναι στην περίπτωση αυτή

$$\Delta S_{LC} = P - R - ET - PER_{sw} \quad (\text{εξ.4.22})$$

όπου

$\Delta S_{LC}$ : αλλαγή της ποσότητας του νερού που κρατάει ο συγκεκριμένος όγκος εδάφους, mm

P: ποσότητα βροχόπτωσης ανά μονάδα επιφάνειας, mm

R: ποσότητα επιφανειακής απορροής ανά μονάδα επιφάνειας, mm

ET: ποσότητα νερού που χάνεται μέσω εξατμισοδιαπνοής ανά μονάδα επιφάνειας, mm

$PER_{sw}$ : ποσότητα νερού που διηθείται ανά μονάδα επιφάνειας της κάλυψης του ΧΥΤΑ στα ΑΣΑ, mm

Η συνολική ποσότητα του νερού που μπορεί να κατακρατηθεί στο έδαφος εξαρτάται από την υδατοχωρητικότητα και το PWP. Η τάση του εδάφους, στην μέγιστη υδατοχωρητικότητα του εδάφους είναι μεταξύ των τιμών 0,1-0,3atm. Το PWP ορίζεται ως το ποσό του νερού που παραμένει στο έδαφος όταν τα φυτά δεν μπορούν να αποσπάσουν μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Η τάση του εδάφους, στο PWP είναι περίπου 15atm. Η διαφορά μεταξύ του FC και του PWP αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που μπορεί να κρατηθεί στο έδαφος.

Πίνακας 4.7: Τυπικές τιμές του FC και του PWP για διάφορους τύπους εδαφών [11]

Τύπος εδάφους	FC		PWP	
	Διακύμανση	Τυπική τιμή	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Άμμος	6-12	6	2-4	4
Λεπτή άμμος	8-16	8	3-6	5
Αμμώδης πηλός	10-18	14	4-8	6
Λεπτός αμμώδης πηλός	14-22	18	6-10	8
Πηλώδες έδαφος	18-26	22	8-12	10
Πηλώδες έδαφος (λασπώδες)	19-28	24	9-14	10

Αργιλώδης πηλός	23-31	27	11-15	12
Λασπώδης άργιλος	27-35	31	12-17	15
Άργιλος	31-39	35	15-19	17

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες εξισώσεις προσδιορισμού της διήθησης.

[40]

$$\text{Διήθηση} = K_u = K_s \left[ \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \right]^{3 + \left(\frac{2}{\lambda}\right)} \quad (\text{εξ.4.23})$$

όπου

$K_u$  και  $K_s$ : η ακόρεστη και κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα αντίστοιχα,

$\theta$ : η πραγματική περιεχόμενη υγρασία,

$\theta_r$ : η παραμένουσα περιεχόμενη υγρασία,

$\phi$ : το πορώδες και

$\lambda$ : η κατανομή του μεγέθους των πόρων.

Η εξίσωση Green Ampt αποτελεί μια ευρέως γνωστή προσέγγιση που χρησιμοποιεί τον νόμο του Darcy. Η εξίσωση είναι η εξής:

$$I = K \left( 1 + \frac{(\Phi - \Theta_i) S_f}{F} \right) \quad (\text{εξ.4.24})$$

όπου

$I$ : ο ρυθμός διήθησης, cm/hr

$K$ : η ενεργή υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, cm/hr

$S_f$ : η ενεργή ρόφηση στο υγρό μέτωπο, cm

$\Phi$ : το πορώδες του εδάφους, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

$\Theta_i$ : η αρχική περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

$F$ : η διήθηση που έχει συσσωρευτεί, cm [41]

Σε μια απλούστερη μορφή ο ρυθμός διήθησης μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\text{Ρυθμός διήθησης} = \frac{\text{πάχος στρώματος} \cdot \text{υδραυλική αγωγιμότητα} \cdot \text{κλίση}}{\text{μήκος κλίσης}} \quad (\text{εξ.4.25})$$

## 4.8 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ – ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΧΥΤΑ

### 4.8.1 Μεταβολή υγρασίας στα υπερκείμενα εδάφη

- Εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει χιόνι στην επιφάνεια στην αρχή της ημέρας αλλά ούτε και χιονόπτωση κατά τη διάρκεια αυτής η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ( $E_{oi}$ ) εφαρμόζεται στην όποια υπολογισμένη παρεμπόδιση από την βροχόπτωση τη συγκεκριμένη μέρα, και μερικώς στα λιμνάζοντα στην επιφάνεια ύδατα. Στην περίπτωση αυτή το τμήμα της εξάτμισης λόγω της υγρασίας από την επιφάνεια την ημέρα  $i$  δίνεται από την εξίσωση:

$$ESS_i = \begin{cases} E_{oi} & \text{for } E_{oi} \leq INT_i + PW_i(1 - PRF) \\ INT_i + PW_i(1 - PRF) & \text{for } E_{oi} > INT_i + PW_i(1 - PRF) \end{cases} \quad (\text{εξ.4.26})$$

όπου

$ESS_i$ : εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, in

$PW_i$ : το νερό που έχει 'λιμνάσει' στην επιφάνεια και δεν μπορεί να διηθηθεί, in και

$PRF$ : ποσοστό επιφάνειας όπου η απορροή μπορεί δυνητικά να επιτευχθεί, in

Εάν η εξάτμιση είναι μικρότερη από την υπολογισμένη παρεμπόδιση, τότε το ποσό της παρεμπόδισης γίνεται ίσο με τη δυνητική εξάτμιση.

$INT_i = E_{oi}$  για  $E_{oi} < INT_i$

$$INT_i = INT_{max,i} \left[ 1 - e^{-\left(\frac{R_i}{INT_{max,i}}\right)} \right] \quad (\text{εξ.4.27})$$

$INT_i$ : παρεμπόδιση βροχόπτωσης από την βλάστηση την ημέρα  $i$ , in

$INT_{max,i}$ : αποθηκευτική ικανότητα παρεμπόδισης από την βλάστηση την ημέρα  $i$ , in

$R_i$ : βροχόπτωση την ημέρα  $i$ , in

Αν και το  $INT_{max}$  εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, τύπος βλάστησης, επίπεδο ανάπτυξης αυτής, ταχύτητα αέρα κτλ, σύμφωνα με τον Horton φαίνεται πως 0,05in είναι μια λογική εκτίμηση για τους περισσότερους τύπους βλάστησης.

Το  $INT_{max}$  σχετίζεται με το CV, την πάνω από το έδαφος δηλαδή, βιομάζα σύμφωνα με τη σχέση:

$$INT_{max,i} = \begin{cases} 0.05 \left( \frac{CV_i}{14000} \right) & \text{for } CV_i < 14000 \\ 0.05 & \text{for } CV_i \geq 14000 \end{cases}$$



όπου  $CV_i$  η πάνω από το έδαφος βιομάζα την ημέρα  $i$ , kg/ha (εξ.4.28)

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή  $E_{oi}$  την ημέρα  $i$  (σε in ) δίνεται από την εξίσωση

$$E_{a_i} = \frac{LE_i}{25.4 L_v} \quad (\text{εξ.4.29})$$

όπου  $LE_i = PENR_i + PENA_i$

$LE_i$ : διαθέσιμη ενέργεια την ημέρα  $i$  για δυνητική εξατμισοδιαπνοή, langleys

$PENR_i$ : στοιχείο ακτινοβολίας της εξίσωσης του Penman την ημέρα  $i$ , langleys

$PENA_i$ : στοιχείο αεροδυναμικής της εξίσωσης του Penman την ημέρα  $i$ , langleys

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει το τμήμα της διαθέσιμης ενέργειας για εξατμισοδιαπνοή εξαιτίας της ανταλλαγής της ακτινοβολίας της γης με τον ήλιο

Ο δεύτερος όρος εκφράζει την επιρροή της υγρασίας και του ανέμου στο LE,

Οι δυο αυτοί όροι εκφράζονται από τις επόμενες σχέσεις

$$PENR_i = \frac{\Delta_i}{(\Delta_i + \gamma)} R_{ni}$$

$$PENA_i = \frac{15.36 \gamma}{(\Delta_i + \gamma)} (1 + 0.1488 u) (e_{oi} - e_{a_i})$$

όπου

$R_{ni}$ : καθαρή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια την ημέρα  $i$ , langleys

$\Delta_i$ : κλίση καμπύλης πίεσης κορεσμού στην μέση θερμοκρασία της ημέρας, langleys

$\gamma$ : σταθερά 0,68 millibars/ °C

$e_{oi}$ : πίεση ατμών κορεσμού σε μέση θερμοκρασία την ημέρα  $i$  millibars

$$e_{a_i} = 33.8639 RH [(0.00738 T_{e_i} + 0.8072)^8 - (0.000019) | 1.8 T_{e_i} + 48 | + 0.001316]$$

όπου

$T_{e_i}$ : η μέση θερμοκρασία την ημέρα  $i$ , °C

$e_{oi}$ : μέση πίεση κορεσμού των ατμών την ημέρα  $i$  millibars

RH σχετική υγρασία ατμόσφαιρας

Η παράμετρος  $\Delta_i$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$\Delta_i = 1.9993 [(0.00738 T_{e_i} + 0.8072)^7 - 0.0005793]$$

η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από την επιφάνεια της γης  $R_{ni}$ , είναι η διαφορά μεταξύ της ολικής εισερχόμενης ακτινοβολίας και της ολικής εξερχόμενης και εκτιμάται από την εξίσωση

$$R_{ni} = (1-a) R_{si} - R_{bi}$$

$R_{si}$ : εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία την ημέρα  $i$ , langleys

$a$ : albedo ( $a=0,23$  απουσία χιονιού)

$R_{bi}$  : μακροκυματική ροή ακτινοβολίας από το έδαφος την ημέρα  $i$

Η παράμετρος  $R_{bi}$  μειώνεται με την αύξηση της υγρασία και την νέφωση ξκαι υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης

$$R_{b_i} = R_{b_{a_i}} \left[ a_i \left( \frac{R_{s_i}}{R_{s_{o_i}}} \right) - b_i \right]$$

$R_{b_{oi}}$  : η μέγιστη μακροκυματική εξερχόμενη ακτινοβολία υποθέτοντας αίθριο καιρό για την ημέρα  $i$

$R_{s_{oi}}$  : η μέγιστη δυνητική ηλιακή ακτινοβολία την ημέρα  $i$

$a_i$  και  $b_i$  συντελεστές εξαρτώμενοι από την ακτινοβολία την ημέρα  $i$

για  $RH_i < 50\%$ ,  $a_i=1,2$  και  $b_i=0,1$

για  $50\% < RH_i < 75\%$ ,  $a_i=1,1$  και  $b_i=0,1$

για  $RH_i > 75\%$ ,  $a_i=1,0$  και  $b_i=0,0$

Η εξερχόμενη μακροκυματική ακτινοβολία υποθέτοντας αίθριο καιρό,  $R_{b_o}$  εκτιμάται από την εξίσωση

$$R_{b_{o_i}} = 1.171 \times 10^{-7} (T_{c_i} + 273)^4 (0.39 - 0.05 \sqrt{e_{a_i}})$$

Η δυνητική ακτινοβολία για μια δεδομένη ημέρα  $R_{s_o}$  υπολογίζεται από την επόμενη εξίσωση

$$R_{s_{o_i}} = 711.38 DD_i [(H_i \sin |LAT| \sin SD_i) + (\sin H_i \cos |LAT| \cos SD_i)]$$

όπου

LAT: γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, rad

$DD_i : 1 + \{0,0335 \sin[0,0172(J_i + 88,2)]\}$

$SD_i : 0,4102 \sin[0,0172(J_i - 80,25)]\}$

$H_i : \arccosine[(-\tan(LAT))(\tan SD_i)]$

$J_i$  : Ιουλιανή ημερομηνία την ημέρα  $i$  για το Βόρειο ημισφαίριο

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή προσδιορίζεται διαιρώντας τη διαθέσιμη ενέργεια,  $LE$ , με την λανθάνουσα θερμότητα,  $L_v$ , η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Η  $L_v$ , λοιπόν που εμφανίζεται στην εξίσωση

$$E_{a_i} = \frac{LE_i}{25.4 L_v}$$

δίνεται από την σχέση

$L_v : 59,7 - 0,0564 T_{c_i}$

- Εξάτμιση εδάφους

Η δυνητική εξάτμιση από το έδαφος εκτιμάται μέσω της επόμενης εξίσωσης όταν η εξάτμιση δεν περιορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο το νερό μπορεί να μεταφερθεί στην επιφάνεια:

$$ES_{oi} = \frac{(PENR_i + K_{Ei} PENA_i) e^{(-0.000029 CV_i)}}{25.4 (59.7 - 0.0564 T_{ci})}$$

όπου

$E_{soi}$ : δυνητική εξάτμιση από το έδαφος την ημέρα  $i$ , σε in

$PENR_i$  και  $PENA_i$  (σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν)

$CV_i$ : η πάνω από το έδαφος βιομάζα την ημέρα  $i$ , kg/ha

$T_{ci}$ : η μέση θερμοκρασία την ημέρα  $i$ , °C

$K_{Ei}$ :  $1 - 0,0000714 CV_i$ , (όχι μικρότερο του μηδενός)

Η εξίσωση αυτή θεωρεί πως η βιομάζα πάνω από το έδαφος (14000 kg/ha) ή περισσότερο δημιουργούν ικανή σκιά έτσι ώστε η επιρροή από τον αέρα και την υγρασία,  $PENA$ , είναι αμελητέα στην εξίσωση της δυνητικής εξάτμισης από το έδαφος.

Η εξάτμιση του νερού του εδάφους πραγματοποιείται σε δυο στάδια .

Στο στάδιο 1 η εξάτμιση ελέγχεται από τη διαθέσιμη ενέργεια, ενώ στο στάδιο 2 περιορίζεται από το ρυθμό με τον οποίο το νερό μπορεί να μεταφερθεί από το έδαφος στην επιφάνεια.

Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο ο ρυθμός εξάτμισης ισούται με τη δυνητική εξάτμιση του εδάφους

$$ESI_i = ES_{oi} \quad (\text{εξ.4.30})$$

$ES_i$  είναι η εξάτμιση του νερού από το έδαφος κατά το στάδιο 1 την ημέρα  $i$ , σε in. Η εξάτμιση του σταδίου 1 εξακολουθεί να πραγματοποιείται έως ότου η αθροιστική τιμή της εξάτμισης του νερού του εδάφους μείον τη διήθηση είναι μικρότερη από το ανώτερο όριο της εξάτμισης του σταδίου 1. Το όριο αυτό αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που μπορεί άμεσα να μεταφερθεί στην επιφάνεια.

Η σχέση που εκφράζει τα παραπάνω είναι η εξής:

$$ESIT_i = \sum_{k=m}^i (ES_k - INF_k) \quad (\text{εξ.4.31})$$

$ESIT_i$  είναι η αθροιστική ελάττωση του νερού του εδάφους την ημέρα  $i$  μέσω της εξάτμισης, in

$ES_k$ : η εξάτμιση νερού του εδάφους κατά την ημέρα  $k$ , in

$m$ : η τελευταία μέρα οπότε το  $ESIT_i$  ισούται με 0

$INF_i$ : η διήθηση την ημέρα  $i$ , ισούται με την βροχόπτωση μείον την εξάτμιση της υγρασίας του εδάφους και της απορροής, in

$$INF_i = PRE_i - INT_i - Q_i$$

Το ανώτερο όριο της εξάτμισης του σταδίου 1 είναι

$$U = \frac{9}{25.4} (CON - 3)^{0.42} \quad (\text{εξ.4.32})$$

U: ανώτερο όριο εξάτμισης σταδίου 1, in

CON: συντελεστής εξάτμισης, mm/d<sup>0.5</sup>

Ο συντελεστής CON ορίζεται ως η ευκολία με την οποία το νερό μπορεί να εξαχθεί από το έδαφος ή τα ΑΣΑ

$$CON = \begin{cases} 3.30 & (K_u)_{0.1 \text{ bar}} \leq 0.05 \text{ cm/day} \\ 2.44 + 17.19 (K_u)_{0.1 \text{ bar}} & 0.05 \text{ cm/day} < (K_u)_{0.1 \text{ bar}} < 0.178 \text{ cm/day} \\ 5.50 & (K_u)_{0.1 \text{ bar}} \geq 0.178 \text{ cm/day} \end{cases} \quad (\text{εξ.4.33})$$

$(K_u)_{0.1 \text{ bar}}$  = ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα σε πίεση 0,1bar, cm/sec

η οποία δίνεται από τη σχέση

$$K_u = K_s \left[ \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \right]^{3 + \left(\frac{2}{\lambda}\right)}$$

$K_u$ : ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, cm/sec

$K_s$ : κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα, cm/sec

$\theta$ : πραγματική ογκομετρική περιεκτικότητα νερού, vol/vol

$\theta_r$ : εναπομείνασα ογκομετρική περιεκτικότητα νερού, vol/vol

$\phi$ : ολικό πορώδες, vol/vol

$\lambda$ : κατανομή μεγέθους πόρων, αδιάστατο

Το  $\theta_r$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$\theta_r = \begin{cases} 0.014 + 0.25 WP & \text{για } WP \geq 0.04 \\ 0.6 WP & \text{για } WP < 0.04 \end{cases}$$

όπου WP = wilting point, vol/vol (εξ.4.34)

Στην περίπτωση που το  $ES1T_i$  είναι μεγαλύτερο από το U η εξάτμιση του σταδίου 1 παύει και ξεκινά η εξάτμιση  $ES2_i$

$$ES2_i = \frac{1}{25.4} CON [t_i^{0.5} - (t_i - 1)^{0.5}] \quad (\text{εξ.4.35})$$

όπου

$ES2_i$ : εξάτμιση νερού εδάφους στο στάδιο 2, in

$t_i$ : αριθμός ημερών από τη λήξη του σταδίου 1

Καθώς η συνολική ημερήσια εξάτμιση από τη επιφάνεια του εδάφους και από το περιεχόμενο νερό του εδάφους, δεν μπορεί να υπερβαίνει τη δυνητική εξάτμιση, η εξάτμιση του εδάφους περιορίζεται από το ποσοστό της ενέργειας που είναι διαθέσιμη αφού έχει ληφθεί υπόψη και η εξάτμιση του επιφανειακού νερού  $LE_{Si}$ .

(Η πραγματική εξάτμιση του νερού την ημέρα  $i$ ,  $ESD_i$ , δεν μπορεί να υπερβαίνει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή του εδάφους  $ETS_{0i}$ ).

Η επόμενη εξίσωση χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ημερήσιας εξάτμισης του νερού του εδάφους.

$$ESD_i = \begin{cases} ESI_i & \text{για } ESIT_i < U \text{ και } ESI_i \leq ETS_{0i} \\ ES2_i & \text{για } ESIT_i \geq U \text{ και } ES2_i \leq ETS_{0i} \\ ETS_{0i} & \text{για } ESIT_i < U \text{ και } ESI_i > ETS_{0i} \\ ETS_{0i} & \text{για } ESIT_i \geq U \text{ και } ES2_i > ETS_{0i} \end{cases} \quad (\text{εξ.4.36})$$

Η απαίτηση για εξάτμιση του νερού του εδάφους στη συνέχεια κατανέμεται στα εδάφη κοντά στην επιφάνεια σε ένα μέγιστο βάθος που δεν μπορεί να υπερβαίνει το βάθος της ζώνης εξάτμισης. Το μέγιστο βάθος είναι μια συνάρτηση των τριχοειδών φαινομένων και του μεγέθους των πόρων. Το μέγεθος των πόρων σχετίζεται με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Έτσι η επόμενη συσχέτιση αναπτύχθηκε για να εκτιμηθεί το μέγιστο βάθος εξάτμισης του νερού βασισόμενη σε εμπειρικά δεδομένα.

$$SEDMX = 4,6068 \cdot 1,5952^{-\log K} \quad (\text{εξ.4.37})$$

όπου

$K$ : η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα στη ζώνη εξάτμισης, cm/sec

$SEDMX$  = εκτιμώμενο μέγιστο βάθος εξάτμισης του εδαφικού νερού, in

$$SED = \begin{cases} EZD & \text{για } EZD \leq SEDMX \text{ και } EZD \leq 48 \\ 48 & \text{για } EZD \leq SEDMX \text{ και } EZD > 48 \\ SEDMX & \text{για } EZD > SEDMX \text{ και } 18 \leq SEDMX \leq 48 \\ 18 & \text{για } EZD > SEDMX \text{ και } SEDMX < 18 \\ 48 & \text{για } EZD > SEDMX \text{ και } SEDMX > 48 \end{cases} \quad (\text{εξ.4.38})$$

οι 18in και οι 48in αναφέρονται σε αμμώδη και αργιλικά εδάφη αντίστοιχα.

Η απαίτηση για εξάτμιση του εδαφικού νερού κατανέμεται μέσω των 7 τμημάτων στη ζώνη εξάτμισης του εδαφικού νερού μέσω της εξίσωσης:

$$ESD_i(j) = ESD_i \cdot W(j) \quad (\text{εξ.4.39})$$

όπου  $ESD_i(j)$  = απαίτηση εξάτμισης του νερού του εδάφους του τμήματος  $j$  την ημέρα  $i$ , in

$W(j)$  = συντελεστής βαρύτητας τμήματος  $j$ , για  $j = 1 - 7$

$$W(j) = 1.0159 \left[ e^{-4.16 \frac{D_j - t}{SED}} - e^{-4.16 \frac{D_j}{SED}} \right] \quad \text{για } D \leq SED \quad (\text{εξ.4.40})$$

$D_j$ : βάθος έως τον πυθμένα του τμήματος  $j$ .

Το πάχος της ζώνης εξάτμισης χωρίζεται σε 7 τμήματα. Το πάχος του κορυφαίου τμήματος ορίζεται στο  $1/36^\circ$  του ολικού. Το πάχος του 2<sup>ου</sup> ορίζεται στο  $5/36^a$ , ενώ το πάχος των υπολοίπων 5 που υπόκεινται ορίζονται στο  $1/6^\circ$  του ολικού. Το βάθος της ζώνης εξάτμισης είναι το μέγιστο βάθος από το οποίο μπορεί να μετακινηθεί η υγρασία και να εξατμιστεί.[43]

#### 4.8.2 Μέθοδος Υδατικού Ισοζυγίου

Η μέθοδος ισοζυγίου του ύδατος (WBM) αποτελεί μακράν την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο εκτίμησης του όγκου των διασταλλαγμάτων που προκύπτουν από ένα χώρο απόθεσης ΑΣΑ. Μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$PERC = P - ET - RO + GI - \Delta S \quad (\text{εξ.4.41})$$

όπου

PERC: διήθηση στον πυθμένα του χώρου, mm

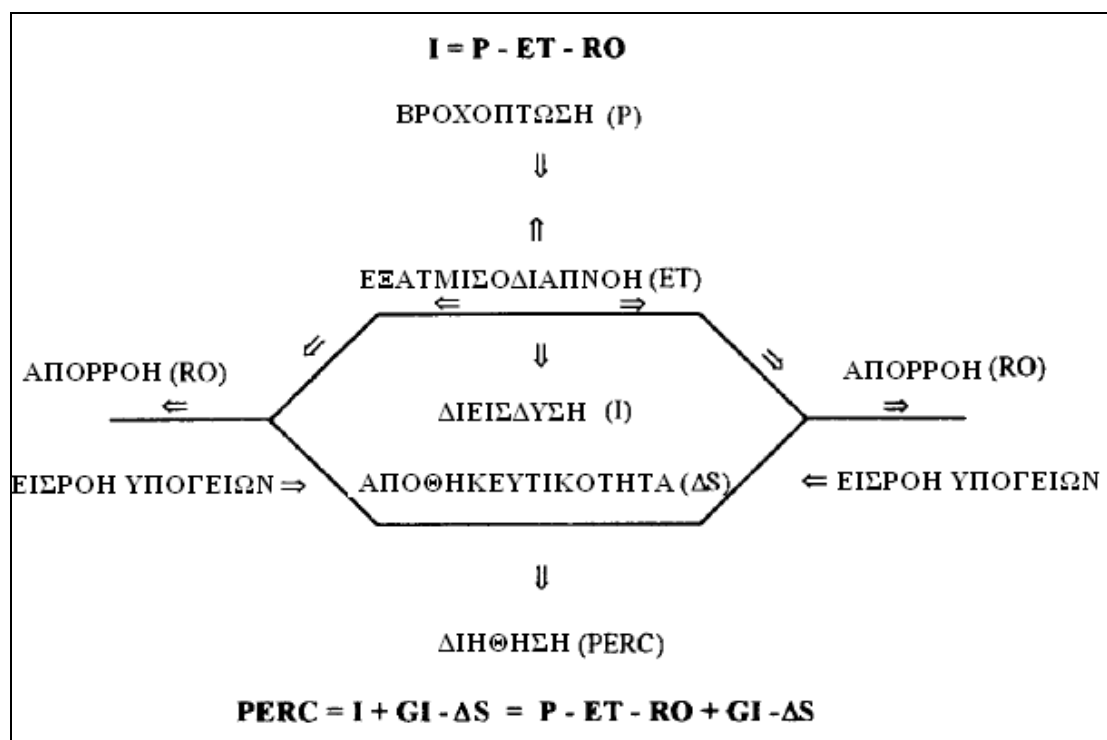
P: βροχόπτωση, mm

ET: εξατμισοδιαπνοή, mm

GI: εισροή υπογείων υδάτων, mm

$\Delta S$ : αλλαγή στην αποθηκευτικότητα, mm

Το WBM υποδηλώνει πως το νερό που διηθείται μέσω του υλικού κάλυψης του χώρου και περάσει από τη ζώνη επιρροής της εξατμισοδιαπνοής θα εξέλθει τελικά από το χώρο σαν στράγγισμα. Αυτό βέβαια ισχύει αφότου τα ΑΣΑ φτάσουν στην υδατοχωρητικότητά τους. Σε κάποιες περιπτώσεις η επίτευξη της υδατοχωρητικότητας μπορεί να έλθει έπειτα από ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και εξαρτάται από το μέγεθος του χώρου, από τον τρόπο ταφής και από τις καιρικές συνθήκες. Αν και η μέθοδος είναι θεωρητικά ορθή και απλή υπάρχει υψηλός βαθμός αβεβαιότητας που σχετίζεται με την εκτίμηση των μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές είναι είτε στοχαστικές στην φύση (όπως βροχόπτωση, άνεμος, θερμοκρασία) είτε εξαρτώνται από παραμέτρους που δύσκολα προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια. (συντελεστές απορροής, περιεχόμενη υγρασία και βαθμός συμπίεσης των ΑΣΑ). Οι παράμετροι αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες ενότητες.[44]



Εικόνα 4.7: Υδατικό ισοζύγιο

Η δυνητική περιεχόμενη υγρασία του απορριμματικού όγκου στο χώρο απόθεσης μπορεί να εκτιμηθεί με χρήση της επόμενης απλοποιημένης εξίσωσης.

$$PMC = \frac{(L_o \cdot M) + P + LA - LCH}{M} \cdot 100 \quad (\text{εξ.4.42})$$

όπου

PMC: η εκτιμώμενη δυνητική υγρασία ΑΣΑ (% περιεχόμενη υγρασία σε ξηρή βάση),  
M: η ολική απορριμματική μάζα στο χώρο απόθεσης (kg υγρασίας / kg ολικών ΑΣΑ που αποτίθενται),

P: η ολική βροχοπτώση (kg υδατικής κατακρήμνισης),

LA: η ολική υγρασία που προστίθεται στα ΑΣΑ, που περιλαμβάνει την ανακύκλωση διασταλλαγμάτων (kg υγρασίας),

LCH: το σύνολο διασταλλαγμάτων που συλλέγονται (kg ολικών διασταλλαγμάτων).

#### 4.8.2.1 Προχωρημένο σύνολο υπολογισμών

- Βήματα 1-5: Προσδιορισμός δυνητικής εξάτμισης

1. Συλλογή στοιχείων θερμοκρασίας (μέσες μηνιαίες τιμές), της περιοχής που βρίσκεται ο ΧΥΤΑ.
2. Χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές, προσδιορίζεται η μηνιαία περιεχόμενη θερμότητα (h) για τον κάθε μήνα (Πίνακας Π.3, Παράρτημα Π), Για

θερμοκρασίες κάτω των 32°F, το  $h$  θα ισούται με μηδέν. Το άθροισμα των μηνιαίων τιμών δίνουν τη συνολική ετήσια περιεχόμενη θερμότητα ( $H$ ).

3. Χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και την ετήσια περιεχόμενη θερμότητα προσδιορίζεται η μη ρυθμισμένη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, (UPET) για τον κάθε μήνα (Πίνακας II.4, Παράρτημα II).
4. Χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό πλάτος που είναι χωροθετημένος ο ΧΥΤΑ, προσδιορίζεται κατάλληλος συντελεστής μηνιαίας διάρκειας ηλιακής ακτινοβολίας ( $r$ ) (Πίνακας II.5, Παράρτημα II).
5. Πολλαπλασιάζεται η μηνιαία τιμή UPET με το συντελεστή  $r$  για να προκύψει η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET) για κάθε μήνα σε in νερού.

- *Βήματα 6-9: Προσδιορισμός του ποσού της βροχόπτωσης που διηθείται στο χώρο απόθεσης*

6. Εκτίμηση βροχόπτωσης στο χώρο (από μετεωρολογικά δεδομένα),  $P$ .
7. Προσδιορισμός συντελεστή απορροής ( $C_{r/o}$ ) για τον υπολογισμό της απορροής ανά μήνα.
8. Υπολογισμός απορροής ( $r/o$ ) από το γινόμενο του συντελεστή απορροής και της βροχόπτωσης.
9. Η μηνιαία διήθηση ( $I$ ) προκύπτει από την αφαίρεση της απορροής από την μηνιαία βροχόπτωση.

- *Βήματα 10-13: υπολογισμός υγρασίας που αποθηκεύεται στο υλικό κάλυψης του χώρου απόθεσης*

10. Αφαίρεση της μηνιαίας PET από την μηνιαία  $I$  για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης υγρασίας για αποθήκευση στην επιφάνεια του χώρου ( $I - PET$ )
11. Για αρνητικές τιμές ( $I - PET$ ), προστίθεται η τιμή ( $I - PET$ ) του προηγούμενου μήνα για τον υπολογισμό της μηνιαίας αθροιστικής απώλειας υγρασίας (ACCWL). Η άθροιση ξεκινά με μηδενική τιμή συσσωρευμένης απώλειας υγρασίας για τον τελευταίο μήνα έχοντας θετική τιμή ( $I - PET$ ).
12. Εκτίμηση μηνιαίας εδαφικής αποθηκευτικότητας υγρασίας (ST) στην επιφάνεια του νερού μέσω των βημάτων:

- Εκτίμηση αρχικής ST ανάλογα τον τύπο και το βάθος του εδάφους (Πίνακας II.6, Παράρτημα II).
- Προσδιορισμός της αρχικής τιμής ST για τους μήνες με θετική τιμή ( $I - PET$ ) πριν από τους μήνες με αρνητική τιμή ( $I - PET$ ).
- Προσδιορισμός της τιμής ST για τους επακόλουθους μήνες με αρνητική τιμή ( $I - PET$ ). Χρήση της τιμής ACCWL και του Πίνακας II.7, Παράρτημα II.



- Για τους επόμενους μήνες με τιμή (I – PET) μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός, προστίθεται η τιμή του κάθε μήνα στην τιμή ST του προηγούμενου. Η τιμή δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την υδατοχωρητικότητα του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή η τιμή ST δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την υδατοχωρητικότητα.

13. Υπολογισμός της διαφοράς ST ή ΔST, για κάθε μήνα, αφαιρώντας την τιμή ST του προηγούμενου μήνα από αυτήν του τρέχοντος.

- *Βήματα 14-16: Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και διήθησης της υγρασίας στο χώρο απόθεσης*

14. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET) από τα επόμενα βήματα:

- για τους υγρούς μήνες η τιμή (I – PET) είναι θετική ή ίση με το μηδέν, η AET θα ισούται με την PET,
- για τους ξηρούς μήνες οπότε και η τιμή (I – PET) είναι αρνητική, χρησιμοποιείται η εξίσωση για την εκτίμηση της AET:

$$AET = PET + ((I - PET) - \Delta ST)$$

15. Υπολογισμός της μηνιαίας διήθησης (PERC):

- για τους υγρούς μήνες η τιμή (I – PET) είναι θετική ή ίση με το μηδέν, χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$PERC = ((I - PET) - \Delta ST)$$

- για τους ξηρούς μήνες η τιμή (I – PET) είναι αρνητική οπότε PERC = 0

16. Για έλεγχο των βημάτων 7-15, υπολογίζεται η μέση μηνιαία βροχοπτώση,  $P = PERC + AET + \Delta ST$  +/- και συγκρίνεται με την αρχική τιμή της βροχοπτώσεως, στο βήμα 6, με την οποία και θα πρέπει να ισούται.

- *Βήμα 17: Εκτίμηση της περιεχόμενης υγρασίας των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ*

17. Μετατρέπονται σε kg τα mm της διήθησης, λαμβάνοντας υπόψη και την έκταση του χώρου. Εκτιμάται η δυνητική υγρασία των ΑΣΑ, σε μηνιαία υγρή βάση, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$PMC = L_0 + PERC + LA - LCH$$

όπου

PMC: η δυνητική υγρασία στα ΑΣΑ (kg υγρασίας / kg ΑΣΑ)

$L_0$ : η μέση ποσότητα υγρασίας στα αρχικά ΑΣΑ που προστίθενται ανά μήνα (kg υγρασίας/kg ολικών ΑΣΑ που αποτίθενται)

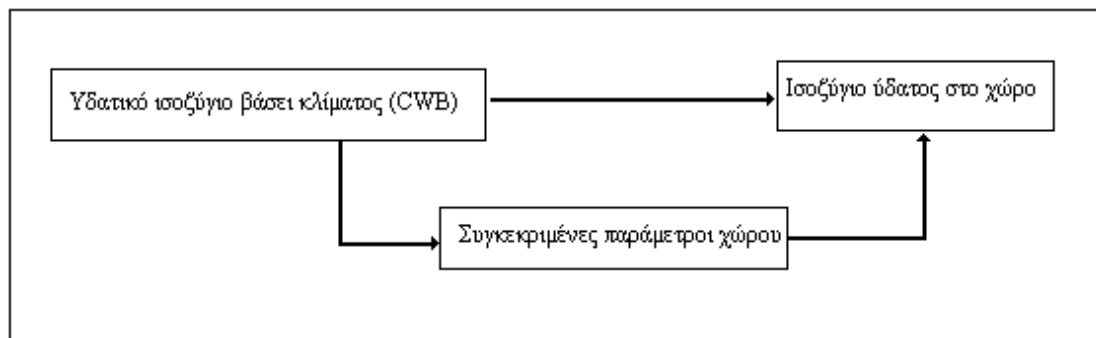
LA: η ολική υγρασία που προστίθεται στα ΑΣΑ, που περιλαμβάνει την ανακύκλωση διασταλλαγμάτων (kg υγρασίας)

LCH: το ποσό των διασταλλαγμάτων που προκύπτουν κάθε μήνα (kg υγρασίας/kg ΑΣΑ)

### 4.8.2 CWB

Η επόμενη διαδικασία έχει αναπτυχθεί προκειμένου να διαπιστωθεί αν θα χρειαστεί ή όχι διαχείριση των διασταλλαζόντων υγρών από ένα ΧΥΤΑ, εάν δηλαδή θα παραχθούν ή όχι στραγγίσματα.

Το CWB (Climatic Water Balance) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας 2 στοιχεία, την βροχόπτωση  $R$  και την εξάτμιση  $E$  από το έδαφος, ( $\text{mm H}_2\text{O}$ )



Εικόνα 4.8: Κλιματικό ισοζύγιο ύδατος [45]

Το  $B = R - E$  υπολογίζεται για την υγρότερη εποχή του υγρότερου έτους από τα αρχεία που έχει στη διάθεσή του ο μελετητής.

Το  $B$  στη συνέχεια επαναυπολογίζεται διαδοχικά και για ξηρότερα έτη, καθώς το υγρότερο έτος του αρχείου μπορεί να έχει προκύψει από βροχοπτώσεις εκτός εποχής. (π.χ. η υγρότερη εποχή να μην είναι στο υγρότερο έτος).

Ο υπολογισμός επαναλαμβάνεται έως ότου

- αποδειχθεί πως το  $B$  είναι θετικό για λιγότερο από ένα στα 5 έτη που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Στην περίπτωση αυτή

- ➔ δε δημιουργείται αξιοσημείωτη παραγωγή στραγγισμάτων εξαιτίας του κλίματος,
  - ➔ ο χώρος χαρακτηρίζεται σαν  $B^-$ ,
  - ➔ εάν οι ελάχιστες απαιτήσεις χωροθέτησης, σχεδιασμού και λειτουργίας ταυτίζονται και μόνο ξηρά απορρίμματα αποτίθενται στο χώρο τότε δεν χρειάζεται σύστημα συλλογής στραγγισμάτων.
- εάν το  $B$  είναι θετικό για περισσότερο από ένα στα 5 έτη που υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία τότε
    - ➔ θα υπάρξει παραγωγή στραγγισμάτων εξαιτίας του κλίματος,
    - ➔ ο χώρος χαρακτηρίζεται σαν  $B^+$ ,
    - ➔ στο χώρο θα πρέπει να τοποθετηθεί σύστημα συλλογής στραγγισμάτων. [46]

Το σημείο ‘αλλαγής’ ανάμεσα σε σποραδική παραγωγή ( $B^-$ ) διασταλλαγμάτων και σημαντική παραγωγή ( $B^+$ ) βρίσκεται δηλαδή εκεί όπου το  $B$  είναι μεγαλύτερο για το 1στα 5 έτη ή για το 20% των υπαρχόντων μετεωρολογικών δεδομένων.

Η διαδικασία είναι βαθμονομημένη για ΧΥΤΑ της Ν. Αφρικής, ενώ παρουσιάζεται αρκετά συντηρητικό καθώς ένας  $B^+$  ΧΥΤΑ είναι ουσιαστικά  $B^-$  κατά 80%.

### 4.8.3 Κατανομή υγρασίας

Ο ρυθμός παραγωγής των διασταλλαγμάτων και ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσουν στην βάση εξαρτάται από την κίνησή τους μέσα στα ΑΣΑ. Η κίνηση της περιεχόμενης υγρασίας συναρτηθεί του βάθους και του χρόνου με τη χρήση ενός δισδιάστατου μοντέλου παρουσιάζεται στη συνέχεια.[47]

Μια στήλη απορριμμάτων  $Y_n$ , ύψους (mm) χωρίζεται σε  $n$  ίσα στοιχεία, πάχους  $Y_n/n$ . Υποθέτοντας πως η κατανομή της αρχικής υγρασίας, είναι γνωστή και η υγρασία είναι καθορισμένη σε μέγιστες και ελάχιστες οριακές συνθήκες σε χρόνο  $t$ , η κάθετη κίνηση ενός ασυμπίεστου υγρού και ενός ακόρεστου μέσου μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial y} \right)$$

$$K = K_s (\theta/\theta_s)^B \quad (\text{εξ.4.43})$$

Όπου  $\theta$  και  $\theta_s$  είναι η περιεχόμενη υγρασία και η υγρασία κορεσμού, των ΑΣΑ αντίστοιχα.

$K_s$  η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού,

$D$ : ο συντελεστής διάχυσης

$B$ : σταθερά ίση με  $2b + 3$  όπου το  $b$  είναι επίσης σταθερά και εκτιμάται από τη σχέση

$$\psi = \psi_s (\theta / \theta_s)^{-b}$$

όπου  $\psi_s$  (saturation suction pressure) και το  $b$  ισούται με 2,15

Ο συντελεστής διάχυσης δίδεται από την εξίσωση:

$$D = K \left( \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) \quad (\text{εξ.4.44})$$

$$\left( \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) = \left( \frac{\psi}{\theta_s} \right) b \left( \frac{\theta_s}{\theta} \right)^{b+1}$$

όπου  $\psi$  το μέτωπο αναρρόφησης. Η λύση της εξίσωσης 4.43 απαιτεί αρχικές και οριακές συνθήκες. Δύο περιπτώσεις αρχικών συνθηκών εξετάζονται. (i) Για την υγρασία επιφάνειας κάτω από τον κορεσμό όπου:

$$\psi = 0, \quad P = K(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y}, \quad 0 \leq t \leq t_p$$

όπου  $P$  η καθαρή ένταση βροχόπτωσης, ( $LT^{-1}$ ) και  $t_p$  ο χρόνος που απαιτείται για την επιφάνεια ώστε να κορεστεί και να γίνει ίσος με τον χρόνο ‘λίμνασης’

Το  $t_p$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των στερεών απόβλητων και την αναλογία  $P/K_s$ . (ii) Για το  $P$  μικρότερο από το  $K_s$ ,

ο χρόνος κορεσμού  $t_p$  είναι άπειρος. Αφότου η επιφάνεια κορεστεί και η βροχόπτωση συνεχίζεται, οι συνθήκες στην επιφάνεια μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$\psi = 0, K_s \leq P \quad \theta = \theta_s \quad \text{και} \quad \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, t_p \leq t \leq t_e \quad (\text{εξ.4.45})$$

όπου  $t_e$  ο χρόνος της ενεργούς βροχόπτωσης που ισούται με  $2h$ . Ωστόσο εξαιτίας του ιδιαίτερα υψηλούς πορώδους των στερεών απόβλητων, "η υγρασία ίση με μηδέν" δεν εμφανίζεται ποτέ.

Η οριακή συνθήκη που παρουσιάζεται υποδηλώνει πως ο κορεσμός έχει επιτευχθεί στην επιφάνεια όταν ο 'χρόνος λίμνασης' είναι πολύ μικρός.

Υποθέτοντας πως η υγρασία το χρόνο  $t$  είναι γνωστή, η επίλυση της επόμενης εξίσωσης δίνει την κατανομή της υγρασίας:

$$\theta_{i+1}^{j+1} = \theta_i^{j+1} + \left[ \frac{(D_i^j + D_{i+1}^j)(\theta_i^j - \theta_{i+1}^j)}{\Delta y^2} + \frac{(D_i^j + D_{i+1}^j)(\theta_i^j - \theta_{i+1}^j)}{\Delta x^2} + \frac{(K_i^j)(K_{i+1}^j)}{\Delta y} \right] \frac{\Delta t}{2} \quad (\text{εξ.4.46})$$

#### 4.8.4 Μοντέλο HELP

Το μοντέλο HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) ή τα παρεμφερή υπολογιστικά μοντέλα απαιτούν λεπτομερή δεδομένα που, τουλάχιστον στην χώρα μας, δεν είναι στη διάθεση του μελετητή. Στον τομέα αυτό αναμένονται οπωσδήποτε θετικές εξελίξεις στο μέλλον [1]. Το HELP δέχεται στοιχεία μετεωρολογικά, εδάφους και κατασκευαστικά και χρησιμοποιεί τεχνικές επίλυσης που λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις της επιφανειακής απορροής, της διήθησης, της εξάτμισης, της υδατοχωρητικότητας και πλήθος άλλων παραμέτρων προκειμένου να προσδιορίσει το υδατικό ισοζύγιο ενός ΧΥΤΑ και τελικά τον όγκο των στραγγισμάτων που προκύπτουν από αυτόν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιεί το μοντέλο. [39]

##### Μετεωρολογικά δεδομένα

- Δεδομένα Εξατμισοδιαπνοής
  - τα οποία υπολογίζει δίνοντας τα στοιχεία
  - τοποθεσία,
  - βάθος ζώνης εξάτμισης,
  - δείκτης περιοχής φυλλώματος-Leaf area index (LAI),
  - ημερομηνίες έναρξης και λήξης της περιόδου ανάπτυξης της βλάστησης,

- μέση κανονική ετήσια ταχύτητα ανέμου,
- κανονική μέση σχετική υγρασία τριμήνου,
  - Δεδομένα Ατμοσφαιρικής Κατακρήμνισης.

Το μοντέλο περιέχει στοιχεία για 102 πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών και για χρονική περίοδο 5 ετών τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει αν ο ΧΥΤΑ βρίσκεται κοντά σε αυτές. Διαφορετικά ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει ημερήσια στοιχεία βροχόπτωσης για 1 έως 100 χρόνια.

- Δεδομένα Θερμοκρασίας

Το πρόγραμμα μπορεί να παράγει για 1 έως 100 χρόνια δεδομένα θερμοκρασίας στοχαστικά για την επιλεγμένη (στα όρια των Ηνωμένων Πολιτειών) τοποθεσία.

- Δεδομένα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας

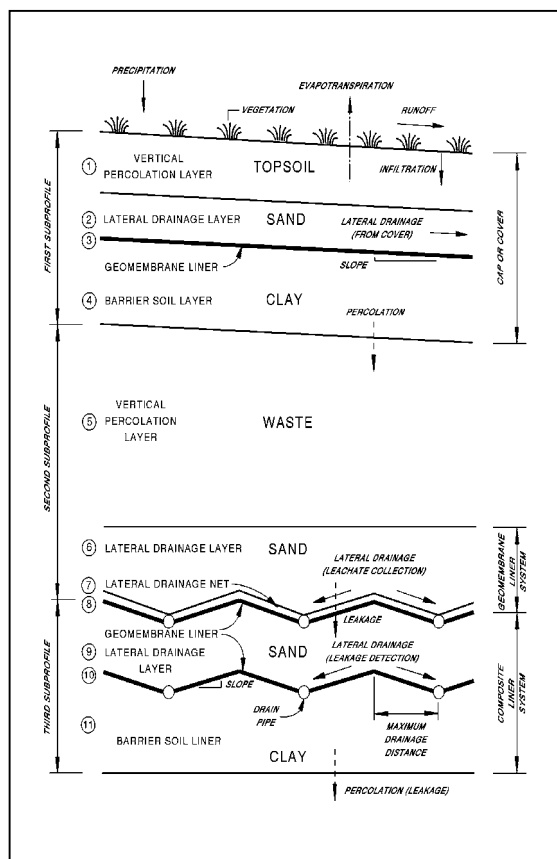
Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι ακριβώς και για τα δεδομένα θερμοκρασίας.[43]

#### Δεδομένα σχεδιασμού και εδάφους.

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει την έκταση του ΧΥΤΑ (acres ή hectares) και το επί τοις εκατό ποσοστό της επιφάνειας όπου είναι δυνατή η απορροή.

#### Τύπος στρώματος

Το πρόγραμμα αναγνωρίζει τέσσερις τύπους στρωμάτων



- στρώμα κάθετης διήθησης,
- στρώμα αποστράγγισης,
- στρώμα εδαφικής μόνωσης (στρώμα φραγμού) και
- στρώμα γεωμεμβράνης.

Εικόνα 4.9: Διάταξη στρωμάτων που θεωρεί το μοντέλο HELP [39]

Στη συνέχεια ορίζονται

- το πάχος του στρώματος,
- το πορώδες,
- η υδατοχωρητικότητα,
- το σημείο μαρασμού και
- η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα.

#### Σχεδιαστικά δεδομένα πλευρικής στρώσης αποστράγγισης

Προκειμένου να εκτιμηθούν τα σχεδιαστικά δεδομένα της αποστραγγιστικής ζώνης απαιτείται να οριστούν

- το μέγιστο μήκος αποστράγγισης (ft ή m)
- η επί τοις εκατό κλίση ζώνης αποστράγγισης (%)
- η επί τοις εκατό ποσότητα στραγγισμάτων που συλλέγονται από το στρώμα απορροής και ανακυκλώνεται (%)
- το στρώμα που δέχεται τα ανακυκλωμένα στραγγίσματα από το στρώμα αποχέτευσης

#### Δεδομένα για τη γεωμεμβράνη

Στοιχεία που χρειάζεται για να καθοριστεί η γεωμεμβράνη πέρα από το πάχος και την υδραυλική αγωγιμότητα είναι:

- πυκνότητα μικροοπών (pinhole density) στο στρώμα της γεωμεμβράνης  
οι ατέλειες στην εγκατάσταση της μεμβράνης

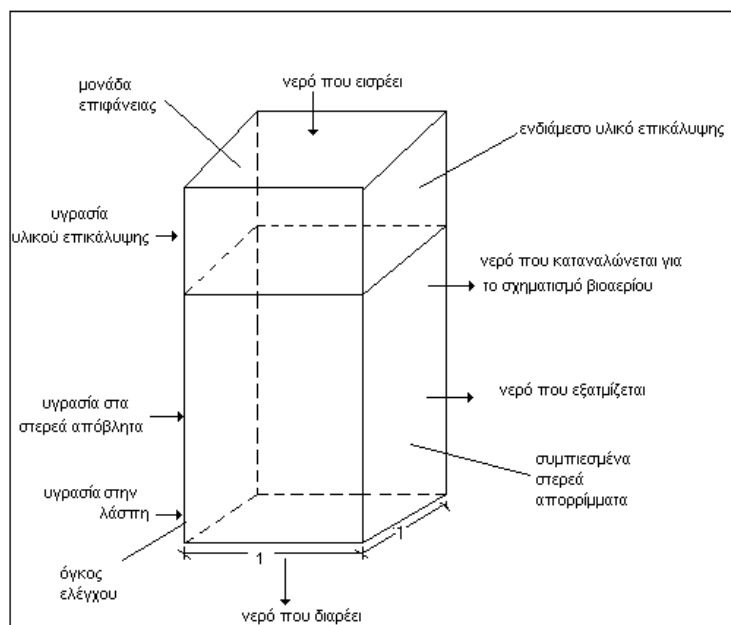
η ποιότητα εγκατάστασης της γεωμεμβράνης (placement quality)

- καμπύλη SCS

Είναι αναγκαίο επιπλέον να δοθεί μια τιμή στην παράμετρο SCS (Soil Conservation Service) ή πληροφορίες ώστε να μπορεί να υπολογιστεί.

#### **4.8.5 Μέθοδος Tcobanoglous [11]**

Οι βασικές εισροές είναι το νερό που εισέρχεται στο κύτταρο από πάνω, η υγρασία των στερεών αποβλήτων που αποτίθενται, η υγρασία στο υλικό επικάλυψης και η υγρασία της ιλύος εφόσον επιτρέπεται η απόθεση αυτής. Οι κύριες εκροές είναι το νερό που καταναλώνεται για την παραγωγή βιοαερίου, οι υδρατμοί (saturated water vapor στο βιοαέριο) και τα παραγόμενα στραγγίσματα. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς αναλύεται στη συνέχεια.



Εικόνα 4.10: Όγκος ελέγχου υδατικού ισοζυγίου [11]

#### Νερό που εισρέει 'από επάνω'

Για τα επιφανειακά στρώματα του ΧΥΤΑ το νερό αυτό προέρχεται από την υδατική κατακρήμνιση που διεισδύει μέσω του υλικού επικάλυψης. Για τα επόμενα στρώματα το νερό αυτό αποτελεί η διήθηση νερού μέσω των ΑΣΑ από υπερκείμενα στρώματα. Μια από τις πλέον κρίσιμες φάσεις κατασκευής του υδατικού ισοζυγίου είναι ο καθορισμός του νερού που πραγματικά διηθείται μέσω του υλικού επικάλυψης.

Η διήθηση μέσω της κάλυψης μπορεί να εκτιμηθεί από το ισοζύγιο του νερού για το εδαφικό υλικό κάλυψης (ή τα απορρίμματα).

$$\Delta S_{LC} = P - R - ET - PER_{SW} \quad (\text{εξ.4.48})$$

όπου

$\Delta S_{LC}$ : η διαφορά στην αποθηκευτικότητα του νερού που κατακρατάται ανά μονάδα όγκου του εδαφικού υλικού,

P: η ποσότητα βροχόπτωσης ανά μονάδα επιφάνειας,

R: η ποσότητα απορροής ανά μονάδα επιφάνειας,

ET: η ποσότητα νερού που χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής ανά μονάδα επιφάνειας

$PER_{SW}$ : η ποσότητα νερού που διηθείται από το εδαφικό υλικό στα συμπίεσμένα αστικά απορρίμματα ανά μονάδα επιφάνειας

Η ολική ποσότητα του νερού που είναι δυνατόν να αποθηκευτεί στο έδαφος εξαρτάται από την υδατοχωρητικότητα (FC) και το permanent wilting point (PWP).

#### Νερό στα στερεά απορρίμματα

Είναι η αρχική υγρασία των απορριμμάτων αλλά και η υγρασία που απορροφούν τα

υλικά από την βροχόπτωση και γενικότερα από την ατμόσφαιρα. Σε ξηρά κλίματα τμήμα της αρχικής υγρασίας μπορεί να χαθεί ανάλογα με τις συνθήκες ταφής. Εξαιτίας της υψηλής διακύμανσης της περιεχόμενης αρχικής υγρασίας (λόγω της σύστασης των απορριμμάτων και της εποχής) είναι αναγκαίο να γίνονται διαρκείς έλεγχοι της τιμής της.

#### *Νερό στο υλικό επικάλυψης*

Το ποσοστό του νερού στο υλικό επικάλυψης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον τύπο του εδάφους και από την εποχή. Η μέγιστη τιμή του νερού που μπορεί να κατακρατηθεί από το εδαφικό υλικό εξαρτάται από τη υδατοχωρητικότητα. Τυπικές τιμές της υγρασίας του εδάφους είναι 6-12% για άμμο, και 23-31% για αργιλικά εδάφη.

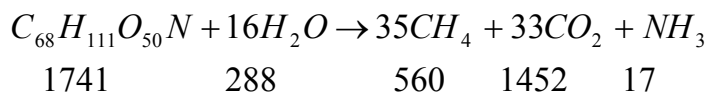
#### *Νερό που διαρρέει*

Το νερό που διαρρέει από την στήλη των απορριμμάτων είναι τα παραγόμενα στραγγίσματα.

#### *Νερό που καταναλώνεται για την παραγωγή βιοαερίου*

Πρόκειται για το νερό που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας αποσύνθεσης του οργανικού τμήματος των αστικών απορριμμάτων.

Η μάζα του νερού που καταναλώνεται ανά kg ξηρού οργανικού αποβλήτου μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:



Η μάζα του νερού που καταναλώνεται ανά pound ξηρών γρήγορα βιοαποδομήσιμων πτητικών στερεών (RBVS - rapidly biodegradable volatile solids) είναι

$$\text{νερό που καταναλώθηκε} = \frac{288}{1741} = 0,165 \text{ kg H}_2\text{O/kg RBVS που αποδομείται}$$

Χρησιμοποιώντας σαν τιμή παραγωγής βιοαερίου την τιμή 0,86m<sup>3</sup>/ kg RBVS που αποδομείται, τελικά ο όγκος του νερού που καταναλώνεται ανά m<sup>3</sup> βιοαερίου θα είναι:

$$\text{νερό που καταναλώθηκε} = \frac{0,165 \text{ kg H}_2\text{O/kg RBVS}}{0,86 \text{ m}^3 / \text{kg RBVS}} = 0,19 \text{ kg H}_2\text{O/m}^3$$

#### *Νερό που χάνεται υπό μορφή ατμού*

Το βιοαέριο συχνά είναι κορεσμένο από τους ατμούς του νερού. Η ποσότητα των ατμών που φεύγουν από το ΧΥΤΑ υπολογίζεται θεωρώντας πως το βιοαέριο είναι κορεσμένο σε ατμούς και ακολουθεί τον νόμο των τέλειων αερίων.



$$P_v V = nRT$$

όπου

$P_v$ : η πίεση των ατμών του νερού σε θερμοκρασία  $T$ ,  $\text{kg/m}^2$

$V$ : όγκος,  $\text{m}^3$

$n$ : ο αριθμός των moles

$R$ : παγκόσμια σταθερά αερίων  $= 0,084 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{mole} \cdot \text{deg}$

$T$ : η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin  $= ^\circ\text{K}$

Η τιμή της μάζας του νερού υπό μορφή ατμού ανά  $\text{m}^3$  βιοαερίου στους  $300 \text{ }^\circ\text{K}$  υπολογίζεται ως ακολούθως

$$P_v = 490 \text{ kg/m}^2$$

$V = \text{όγκος, } \text{m}^3$

$n = \text{ο αριθμός των moles}$

$$n = \frac{P_v V}{RT} = 0,035 H_2O / \text{m}^3 \text{ βιοαερίου}$$

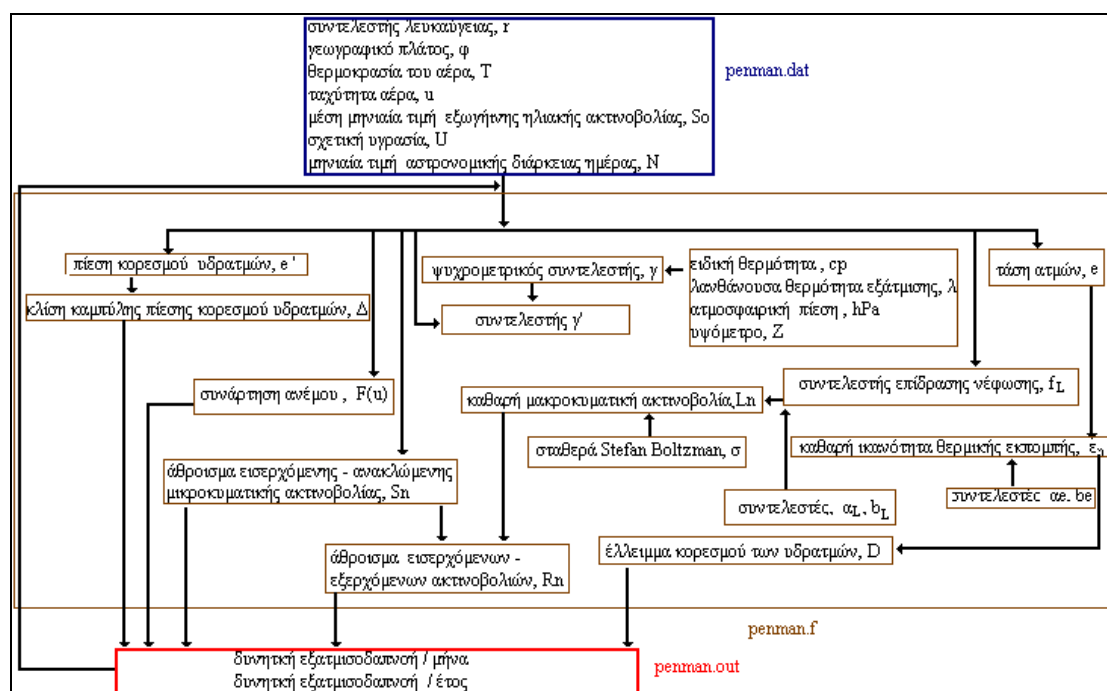
## 4.9 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 4.9.1 Εκτίμηση Εξατμισοδιαπνοής

Τα κλιματολογικά δεδομένα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι εφαρμογές που ακολουθούν αντιστοιχούν σε στοιχεία των Χανίων που ελήφθησαν από την Ε.Μ.Υ.

Εφαρμόζεται αρχικά η μέθοδος Penman – Monteith για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Ο κώδικας που κατασκευάστηκε φαίνεται συνοπτικά στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 4.11: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση της ET κατά Penman-Monteith

Το αρχείο εισόδου penman.dat περιλαμβάνει το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, τη λευκαυγεία, την θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την μέση τιμή της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας, τη σχετική υγρασία και τη μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας ανά μήνα θα έχει την ακόλουθη μορφή.

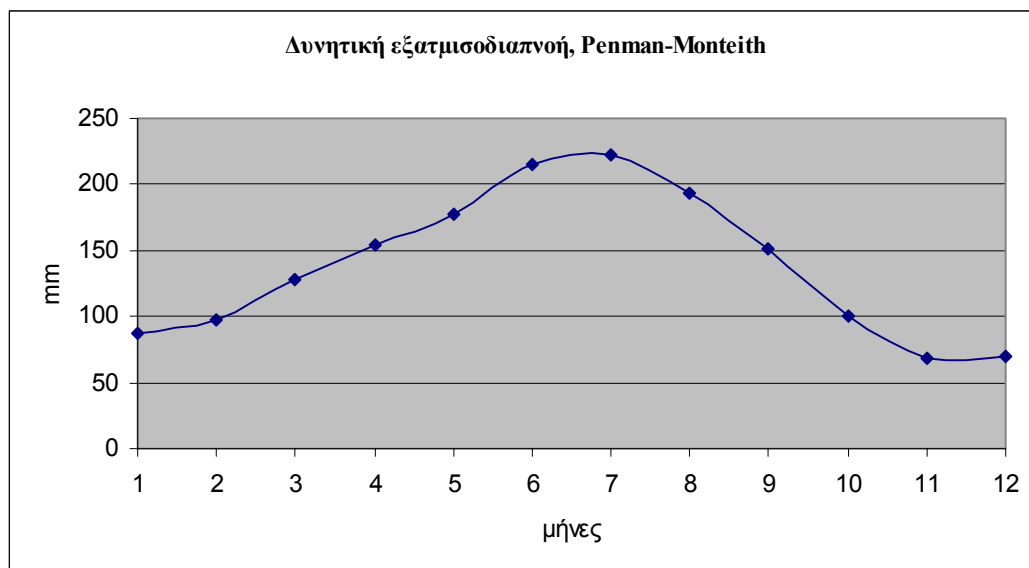
- 35
- 0.25
- 11.6
- 11.8
- 13.2
- 16.3
- 20.1
- 24.5
- 26.5
- 26.1
- 23.3
- 19.4

16.1  
13.1  
3.2  
2.8  
3  
2.6  
2.3  
2.3  
2.3  
2.1  
2.1  
2  
2  
2.6  
18214  
22900  
29442  
35697  
39870  
41527  
40724  
37411  
31865  
25163  
19470  
16845  
0.717  
0.693  
0.684  
0.654  
0.622  
0.558  
0.553  
0.577  
0.639  
0.704  
0.722  
0.721  
9.8  
10.7  
11.7  
12.9  
13.9  
14.3  
14.1  
13.4  
12.1  
11.1  
10.0  
9.6

Ενώ στο αρχείο εξόδου θα υπάρχουν οι υπολογιζόμενες παράμετροι κατά τη διαδικασία, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ανά μήνα και έτος.

JANUARY	FEBRUARY	MARCH	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUGUST	SEPTEMBER	OCTOBER	NOVEMBER	DECEMBER
*****											
CALCULATED PARAMETERS											
*****											
13.66	13.85	15.18	18.54	23.54	30.76	34.63	33.82	28.62	22.54	18.31	15.08
0.90	0.91	0.99	1.18	1.46	1.84	2.04	2.00	1.73	1.40	1.17	0.99
2473.61	2473.14	2469.83	2462.52	2453.54	2443.16	2438.43	2439.38	2445.99	2455.20	2462.99	2470.07
1.00	0.88	0.94	0.80	0.70	0.69	0.69	0.63	0.63	0.61	0.62	0.81
1.38	1.29	1.33	1.24	1.18	1.18	1.18	1.13	1.13	1.11	1.11	1.24
3.87	4.25	4.80	6.41	8.90	13.59	15.48	14.31	10.33	6.67	5.09	4.21
12445.3	14674.25	17702.21	20058.18	21302.34	21774.01	21552.92	20485.63	18713.38	15704.88	13106.81	11687.14
1.09	1.01	0.93	0.85	0.80	0.78	0.79	0.83	0.90	0.98	1.07	1.11
9020.42	8354.62	7864.11	7528.71	7428.34	7691.59	7998.21	8318.50	8767.80	8981.40	9430.10	9386.43
3424.88	6319.63	9838.09	12529.47	13874.00	14082.42	13554.72	12167.12	9945.59	6723.48	3676.71	2300.71
2.89	3.25	4.28	5.12	5.92	7.18	7.42	6.43	5.05	3.33	2.30	2.32
*****											
EVAPOTRANSPIRATION PER MONTH (MM)											
*****											
86.85	97.36	128.28	153.64	177.50	215.47	222.46	193.02	151.47	99.94	68.98	69.57
*****											
TOTAL EVAPOTRANSPIRATION PER YEAR (MM)											
*****											
1664.56											

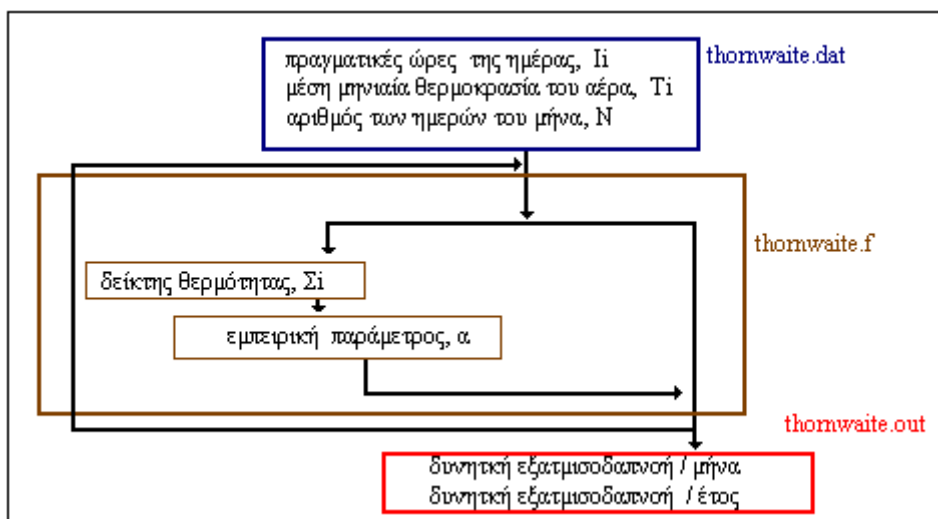
Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από το αρχείο penman.out εμφανίζονται στο επόμενο γράφημα.



Εικόνα 4.12: PET σε ένα έτος κατά Penman -Monteith:

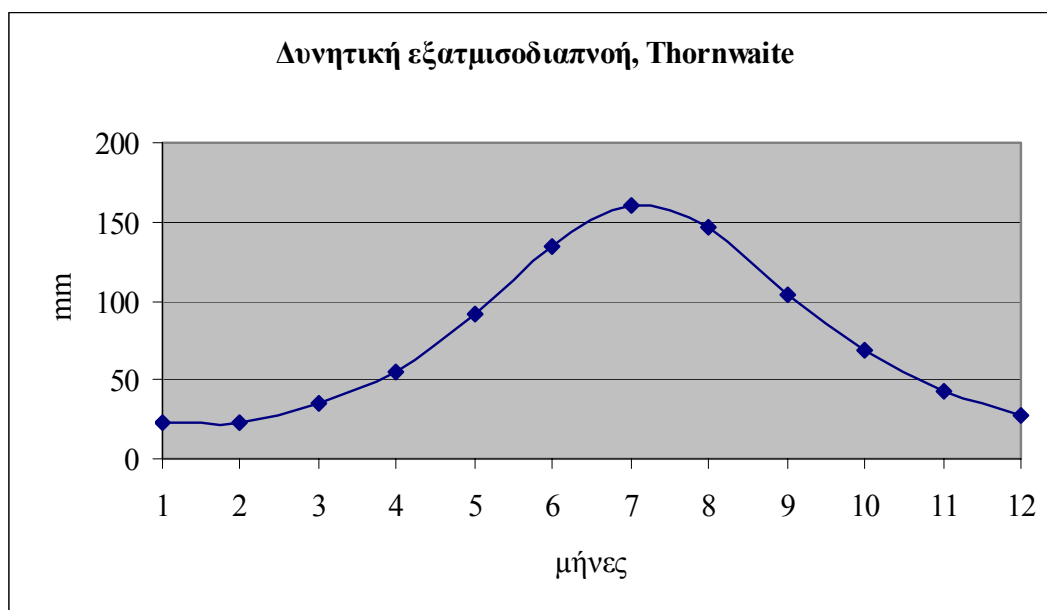
Η συνολική δυνητική εξατμισοδιαπνοή ετησίως θα ισούται με 1664,56mm.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή βάσει της μεθόδου Thornwaite.



Εικόνα 4.13: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση της PET κατά Thornwaite

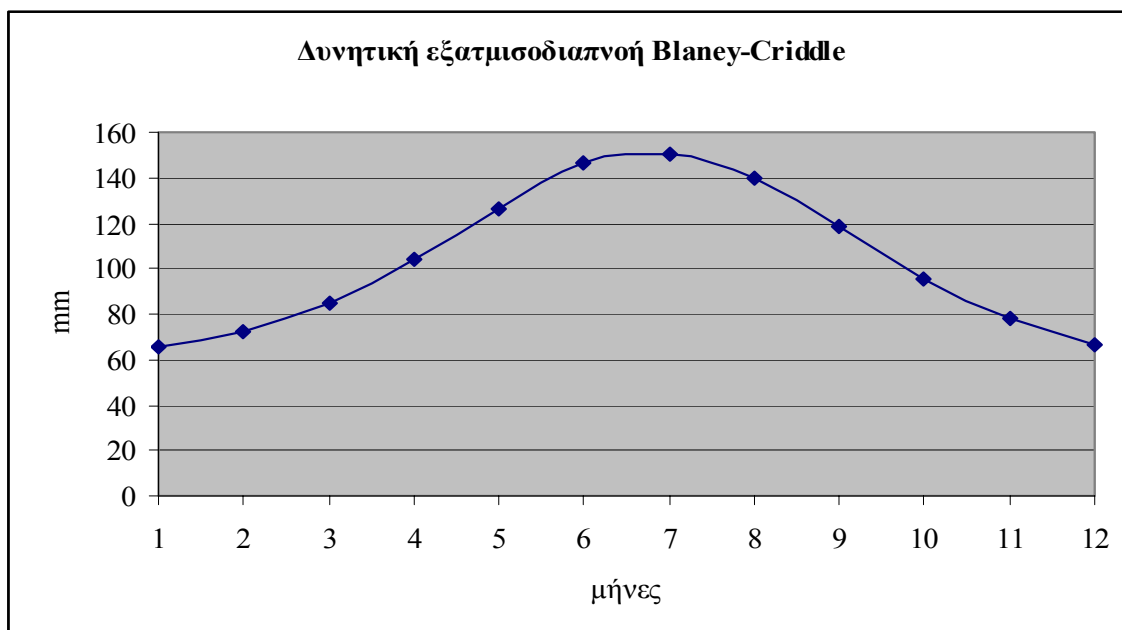
Το αρχείο εισόδου thornwaite.dat. περιλαμβάνει θερμοκρασίες, μέσες μηνιαίες τιμές αστρονομικής διάρκειας ημέρας και αριθμό ημερών μήνα. Τα αρχεία εισόδου και εξόδου του προγράμματος παρουσιάζονται στο παράρτημα. Στην επόμενη γραφική παράσταση παρουσιάζεται η εξέλιξη τα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής μέσα στο χρόνο.



Εικόνα 4.14: PET σε ένα έτος κατά Thornwaite

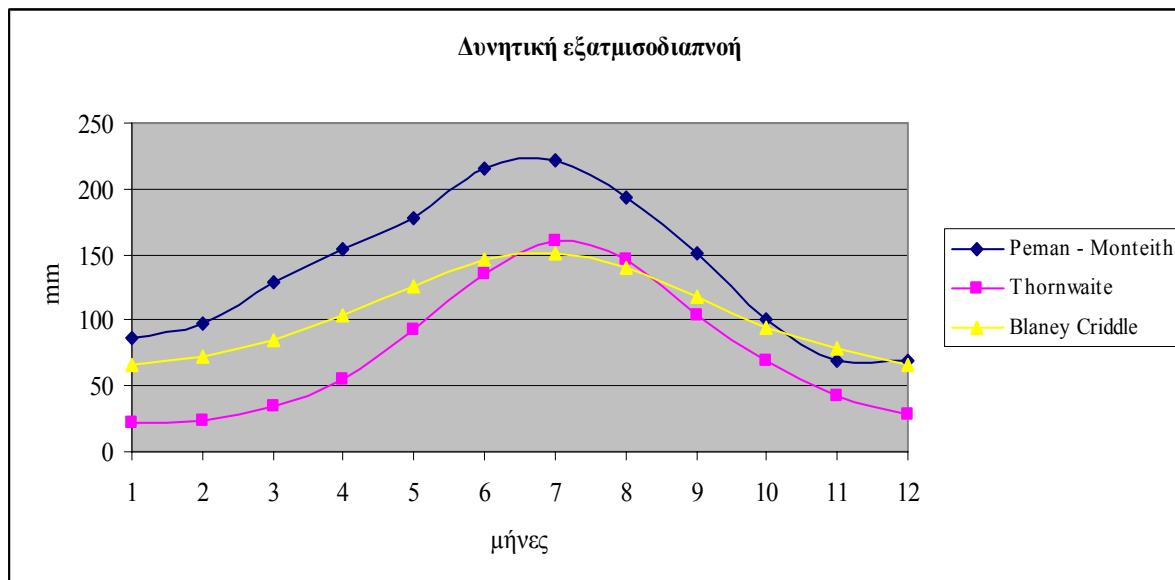
Με την μέθοδο ωστόσο αυτή η εξατμισοδιαπνοή προκύπτει σημαντικά χαμηλότερη. Ενώ η συνολική ετήσια θα ισούται με 911.77mm.

Τέλος, υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και μέσω της μεθόδου Blaney Criddle. Οπότε προέκυψε η ακόλουθης μορφή παράσταση.



Εικόνα 4.15: PET σε ένα έτος κατά Blaney-Criddle

Οι μέθοδοι μεταξύ τους παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά καθώς στηρίζονται σε εμπειρικές σχέσεις που έχουν κατά κύριο λόγο αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε καλλιέργειες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται συγκριτικό γράφημα των προηγούμενων μεθόδων.



Εικόνα 4.16: Συγκριτικό γράφημα μεθόδων εκτίμησης PET

#### 4.9.2 Εκτίμηση διήθησης

Στην περίπτωση που ο χώρος λειτουργεί θεωρείται πως η εξατμισοδιαπνοή σε βάθος έως 30cm μέσα στα ΑΣΑ και πως η υδατοχωρητικότητα των ΑΣΑ και του καθημερινού υλικού κάλυψης  $FC=0,27$  και το  $PWP=0,14$  [36]

Η δυναμική αποθηκευτικότητα υγρασίας (SM) θα είναι:

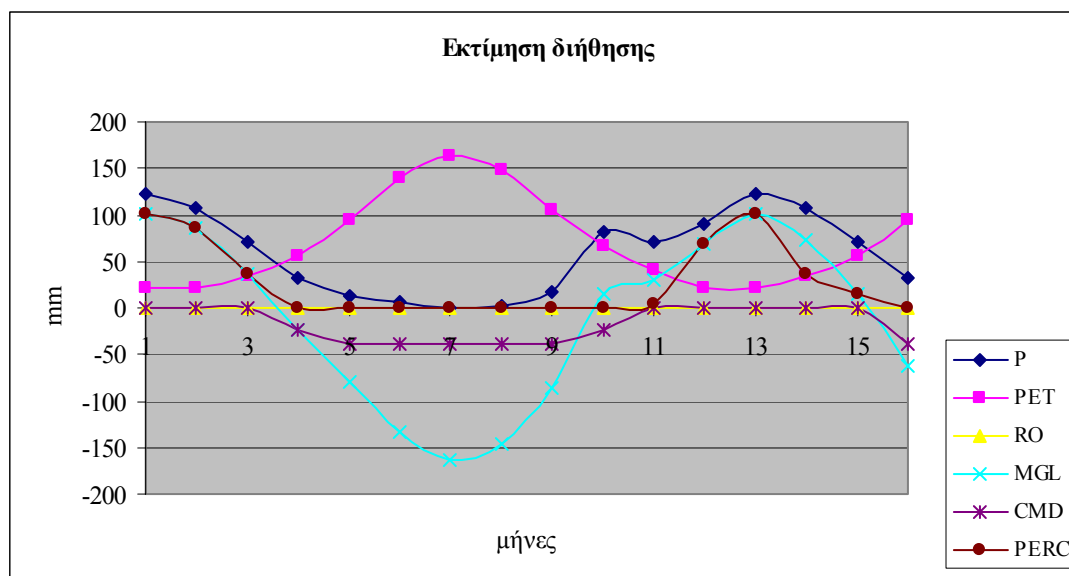
$$SM = (0,27 - 0,14) \cdot 300\text{mm} = 39\text{mm}$$

Κατασκευάζεται πίνακας που καθορίζει το ποσό του νερού που διηθείται. Η μηνιαία βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή (χρησιμοποιήθηκε αυτή που υπολογίστηκε μέσω της μεθόδου του Thornwaite) και απορροή παρουσιάζονται στις στήλες (1), (2), (3) και (4) αντίστοιχα ενώ η προσθήκη ή η απώλεια υγρασίας για το εδαφικό υλικό φαίνεται στην στήλη (5). Το έλλειμμα υγρασίας, τέλος του εδαφικού υλικού δίνεται στην στήλη (6). Τέλος, το ποσό του νερού που διηθείται μέσω του υλικού δίνεται στην τελευταία στήλη.

Πίνακας 4.8: Εκτίμηση διήθησης κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

Μήνας	Βροχόπ. (2)	PET (3)	Απορροή (4)	Υγρασία Προσθήκη Απώλεια (5)	Έλλειμμα υγρασίας εδαφικού υλικού (6)	Διήθηση (7)

Ιανουάριος	122.9	21.94	0	100.96	0	100.96
Φεβρουάριος	108.6	22.42	0	86.18	0	86.18
Μάρτιος	71.9	34.63	0	37.27	0.00	37.27
Απρίλιος	31.9	55.83	0	-23.93	-23.93	0.00
Μάιος	13.9	94.22	0	-80.32	-39	0.00
Ιούνιος	6.6	138.98	0	-132.38	-39	0.00
Ιούλιος	0.5	163.58	0	-163.08	-39	0.00
Αύγουστος	2.7	149.01	0	-146.31	-39	0.00
Σεπτέμβριος	18.2	104.89	0	-86.69	-39	0.00
Οκτώβριος	82.1	67.57	0	14.53	-24.47	0.00
Νοέμβριος	70.9	41.10	0	29.80	0.00	5.33
Δεκέμβριος	91.3	21.94	0	69.36	0.00	69.36
Ιανουάριος	122.9	22.42	0	100.48	0.00	100.48
Φεβρουάριος	108.6	34.63	0	73.97	0.00	36.41
Μάρτιος	71.9	55.83	0	16.07	0.00	16.07
Απρίλιος	31.9	94.22	0	-62.32	-39	0.00



Εικόνα 4.17: Εκτίμηση διήθησης συναρτήσει του χρόνου κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

Η δυνητική αποθηκευτικότητα υγρασίας για το χώμα βάθους 30cm θα είναι:

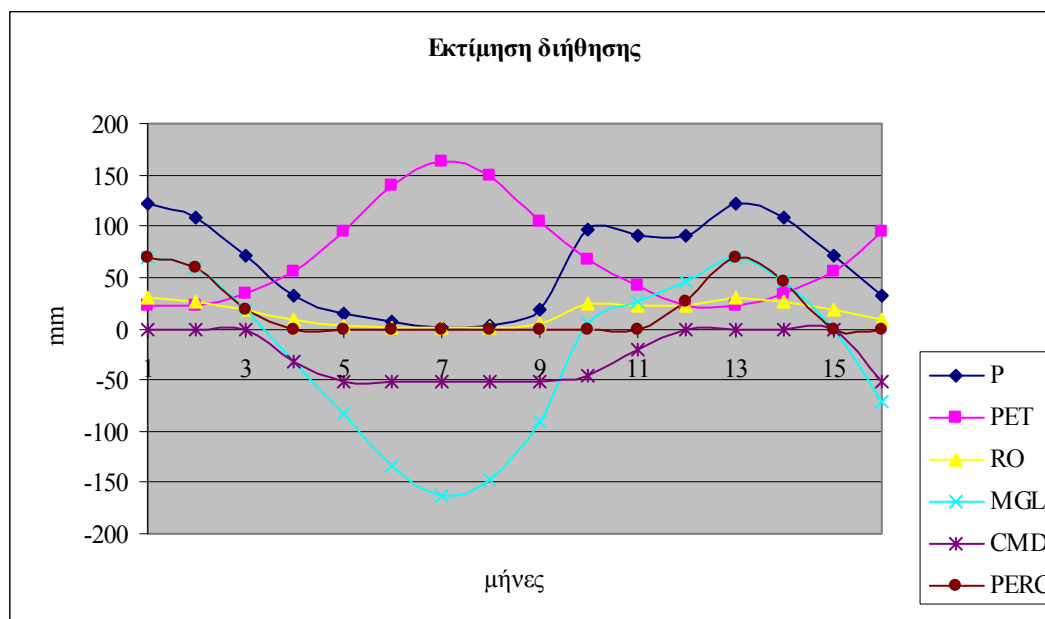
$$SM = (0,26 - 0,09) \cdot 300\text{mm} = 51\text{mm}$$

Παράλληλα θεωρείται πως διαμορφώνονται κλίσεις με σκοπό την επιφανειακή απορροή μέρους του νερού από το χώρο απόθεσης, προς τις περιφερειακές αυλακώσεις. Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής θεωρείται ίσος με 0,25.



Πίνακας 4.9: Εκτίμηση διήθησης μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

Μήνας	Βροχόπ. (2)	ΡΕΤ (3)	Απορροή (4)	Υγρασία Προσθηκη Απώλεια (5)	Έλλειμμα υγρασίας εδαφικού υλικού (6)	Διήθηση (7)
Ιανουάριος	122.9	21.94	30.73	70.24	0	70.24
Φεβρουάριος	108.6	22.42	27.15	59.03	0	59.03
Μάρτιος	71.9	34.63	17.98	19.30	0.00	19.30
Απρίλιος	31.9	55.83	7.98	-31.90	-31.9	0.00
Μάιος	13.9	94.22	3.48	-83.80	-51	0.00
Ιούνιος	6.6	138.98	1.65	-134.03	-51	0.00
Ιούλιος	0.5	163.58	0.13	-163.20	-51	0.00
Αύγουστος	2.7	149.01	0.68	-146.99	-51	0.00
Σεπτέμβριος	18.2	104.89	4.55	-91.24	-51	0.00
Οκτώβριος	96.1	67.57	24.03	4.51	-46.49	0.00
Νοέμβριος	90	41.10	22.50	26.40	-20.09	0.00
Δεκέμβριος	91.3	21.94	22.83	46.54	0.00	26.45
Ιανουάριος	122.9	22.42	30.73	69.76	0.00	69.76
Φεβρουάριος	108.6	34.63	27.15	46.82	0.00	46.82
Μάρτιος	71.9	55.83	17.98	-1.90	0.00	-1.90
Απρίλιος	31.9	94.22	7.98	-70.30	-51	0.00



Εικόνα 4.18: Εκτίμηση διήθησης συναρτήσει του χρόνου μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

Η κλίση και το βάθος του υλικού επικάλυψης είναι δυνατόν να αυξηθούν και να περιοριστεί το νερό που διηθείται μέσω του υλικού κάλυψης. Παράλληλα στην εφαρμογή ο συντελεστής απορροή θεωρήθηκε σταθερός. Στην πραγματικότητα ο συντελεστής απορροής εξαρτάται από τις συνθήκες που έχουν προηγηθεί.

#### 4.9.3 Υπολογισμός παραγωγής διασταλλαγμάτων –Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ

Τα ΑΣΑ που θα φτάνουν ετησίως στα 7 επόμενα έτη κατά μέσο όρο σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν θα είναι 28.800tn στο χώρο.

Τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ είναι

- ειδικό βάρος:  $465\text{kg/m}^3$
- αρχική υγρασία : 38,8% κ.β.

Επιπλέον τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απόθεσης

- ύψος ταμπανιού: 1,85m
- αναλογία ΑΣΑ υλικό επικάλυψης: 5/1κ.ο.
- αριθμός ταμπανιών: 7 (ένα για κάθε έτος)
- Ειδικό βάρος εδάφους:  $1200\text{kg/m}^3$  (συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας)

Όσον αφορά την παραγωγή του βιοαερίου όπως αυτό εκτιμήθηκε στο κεφάλαιο 3 χρησιμοποιείται ο επόμενος πίνακας.

Πίνακας 4.10: Παραγωγή βιοαερίου ανά kg/ ΑΣΑ

Τέλος έτους	Παραγωγή βιοαερίου $\text{m}^3/\text{kg}$
1 <sup>ου</sup>	0

2 <sup>ου</sup>	0.043055
3 <sup>ου</sup>	0.07581
4 <sup>ου</sup>	0.05521
5 <sup>ου</sup>	0.03461
6 <sup>ου</sup>	0.013825
7 <sup>ου</sup>	0.003155
8 <sup>ου</sup>	0.002785
9 <sup>ου</sup>	0.002415
10 <sup>ου</sup>	0.00204
11 <sup>ου</sup>	0.001665
12 <sup>ου</sup>	0.001295
13 <sup>ου</sup>	0.000925
14 <sup>ου</sup>	0.000555
15 <sup>ου</sup>	0.000185
16 <sup>ου</sup>	0

- το νερό που καταναλώνεται (από το αρχείο methane.out) είναι 0,22kg/m<sup>3</sup> παραγόμενου βιοαερίου
- το νερό που υπάρχει με την μορφή ατμών στο βιοαέριο: 0,03kg/m<sup>3</sup> παραγόμενου βιοαερίου
- και τέλος το ειδικό βάρος βιοαερίου : 1,339 kg/m<sup>3</sup>

Η υδατοχωρητικότητα όπως εμφανίστηκε στο κεφάλαιο 2 σαν συνάρτηση του υπερκείμενου βάρους

$$FC = 0,6 - 0,55 \left( \frac{(W \cdot 2,205)}{10.000 + (W \cdot 2,205)} \right)$$

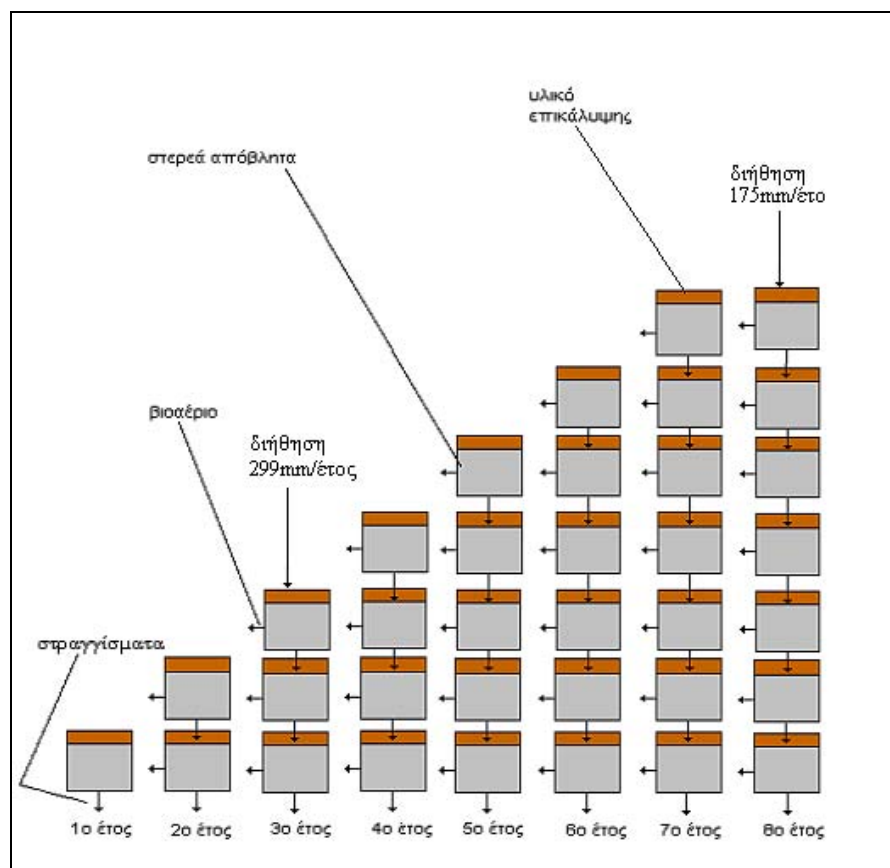
όπου FC: ποσοστό νερού στα ΑΣΑ βασισμένο σε συνθήκες ξηρού βάρους

W = το βάρος υπερφόρτωσης υπολογισμένο στο μέσο ύψος του ταμπανιού, kg

Τέλος οι ποσότητες των κατακρημνισμάτων που διηθούνται όπως εκτιμήθηκαν πριν

- ποσότητα που διηθείται μέσω του καθημερινού υλικού επικάλυψης: 299mm/yr
- ποσότητα που διηθείται μέσω της τελικής κάλυψης: 175mm/yr

Προκειμένου να κατανοηθεί η διαδικασία που ακολουθείται γίνονται οι υπολογισμοί για το 1<sup>ο</sup> έτος.



Εικόνα 4.19: Ταμπάνια κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

## 1. Καθορισμός στοιχείων υδατικού ισοζυγίου για το 1<sup>ο</sup> έτος

(α) Υπολογισμός του βάρους του υλικού επικάλυψης και των στερεών απορριμμάτων για το κάθε ταμπάνι

$$\text{Βάρος του εδαφικού υλικού κάλυψης} = [1200\text{kg/m}^3 \cdot (1,85\text{m} \cdot 1/6) \cdot 1\text{m}^2] = 370\text{kg}$$

$$\text{Βάρος ΑΣΑ} = [465\text{kg/m}^3 \cdot (1,85\text{m} \cdot 5/6) \cdot 1\text{m}^2] = 716,87\text{kg}$$

$$\text{Ολικό βάρος ταμπανιού} = (370\text{kg} + 716,87\text{kg}) = 1086,87\text{kg}$$

$$(\beta) \text{ Ήρρό βάρος ΑΣΑ} = 716,87\text{kg} \cdot 0,62 = 444,45\text{kg}$$

$$(\gamma) \text{ Περιεχόμενη υγρασία στα ΑΣΑ} = 716,87\text{kg} \cdot 0,38 = 272,41\text{kg}$$

(δ) Βάρος βροχόπτωσης που εισέρχεται στη λεκάνη για κάθε ένα από τα 7 έτη

$$\text{Βάρος βροχής} = (1000\text{kg/m}^3) \cdot (0,299\text{m}) \cdot (1\text{m}^2) = 299\text{kg}$$

$$(\epsilon) \text{ Ολικό βάρος ταμπανιού (με το διηθούμενο νερό)} = 1086,87\text{kg} + 299\text{kg} = 1385,87\text{kg}$$

2. Προετοιμασία υδατικού ισοζυγίου στο τέλος του πρώτου έτους και καθορισμός της ποσότητας των στραγγισμάτων που αναμένονται από το πρώτο ταμπάνι.

(α) Υπολογισμός της ποσότητας και του βάρους του βιοαερίου που παράγεται από το ταμπάνι 1 κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους. Από τη εξέλιξη των σεναρίων έχει θεωρηθεί πως δεν υπάρχει παραγωγή βιοαερίου το πρώτο έτος λειτουργίας του ΧΥΤΑ, οπότε,

Παραγόμενο βιοαέριο =  $716,87\text{kg}\cdot 0\text{m}^3/\text{kg}=0\text{m}^3$  των απορριμμάτων που έχουν εναποτεθεί στο 1<sup>ο</sup> ταμπάνι.

Βάρος παραγόμενου βιοαερίου =  $0\text{m}^3 \cdot 1,339\text{kg}/\text{m}^3 = 0\text{kg}$ .

(β) Υπολογισμός του νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή του βιοαερίου

Βάρος νερού που καταναλώνεται =  $0\text{m}^3 \cdot 0,22\text{kg}/\text{m}^3 = 0\text{kg}$

(γ) Υπολογισμός του βάρους των ατμών στο βιοαέριο

Βάρος ατμών =  $0\text{m}^3 \cdot 0,03\text{kg}/\text{m}^3 = 0\text{kg}$

(δ) Υπολογισμός του βάρους του νερού στα στερεά απόβλητα στο ταμπάνι 1.

Βάρος νερού =  $272,41\text{kg} + 299\text{kg}$  (από βροχόπτωση) =  $571,4\text{kg}$

(ε) Υπολογισμός του ξηρού βάρους των στερεών απορριμμάτων στο ταμπάνι 1 στο τέλος του πρώτου έτους

Ξηρό βάρος στερεών απορριμμάτων =  $444,45\text{kg} - (0\text{kg} - 0\text{kg}) = 444,45\text{kg}$

(στ) Υπολογισμός μέσου βάρους των απορριμμάτων στο ταμπάνι 1. ( Το μέσο βάρος στο ταμπάνι 1 βρίσκεται στο μέσο σημείο των απορριμμάτων του πρώτου ταμπανιού)

Μέσο βάρος =  $0,5 \cdot (444,45\text{kg} + 571,4\text{kg}) + 370\text{kg} = 878,42\text{kg}$

(ζ) Υπολογισμός του συντελεστή υδατοχωρητικότητας

$$0,6 - 0,55 \left( \frac{878,4 \cdot 2,205}{10.000 + (878,4 \cdot 2,205)} \right) = 0,51$$

(η) Υπολογισμός της ποσότητας του νερού που μπορεί να κατακρατηθεί στα απορρίμματα.

Νερό στα στερεά απόβλητα στο 1<sup>ο</sup> ταμπάνι :  $0,51 \cdot 444,45\text{kg} = 227\text{kg}$

(θ) Υπολογισμός της ποσότητας των στραγγισμάτων που παράγονται

Παραγόμενα στραγγίσματα = πραγματικό νερό στα απορρίμματα – υδατοχωρητικότητα απορριμμάτων

Παραγόμενα στραγγίσματα =  $571,4\text{kg} - 227\text{kg} = 344,4\text{kg}$  ( Η υδατοχωρητικότητα των απορριμμάτων είναι μικρότερη από το νερό που υπάρχει στα ΑΣΑ οπότε υπάρχει παραγωγή διασταλλαγμάτων).

(ι) Υπολογισμός της ποσότητας του νερού που παραμένει στο 1<sup>ο</sup> ταμπάνι στο τέλος του πρώτου έτους

Νερό που παραμένει =  $(571,4\text{kg} - 344,4\text{kg}) = 227\text{kg}$

(κ) Υπολογισμός του ολικού βάρους του ταμπανιού 1 στο τέλος του πρώτου έτους.

Ολικό βάρος ταμπανιού = ξηρό βάρος + το νερό που παραμένει + υλικό κάλυψης  
 =  $444,45\text{kg} + 227\text{kg} + 370\text{kg} = 996,5\text{kg}$

Κατασκευάστηκε κώδικας προκειμένου να απλουστευτεί η διαδικασία υπολογισμού των παραγόμενων διασταλλαγμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν δυο αρχεία εισόδου. Το ένα μπορεί να προέρχεται απευθείας σαν αρχείο εξόδου του προγράμματος gas.f (κεφάλαιο 3) και θα περιλαμβάνει την ολική παραγωγή βιοαερίου συνολικά από ΑΑΣΑ και ΓΑΣΑ σε  $m^3/kg$  ΑΣΑ που αποδομείται (TOTAL VOLUME).

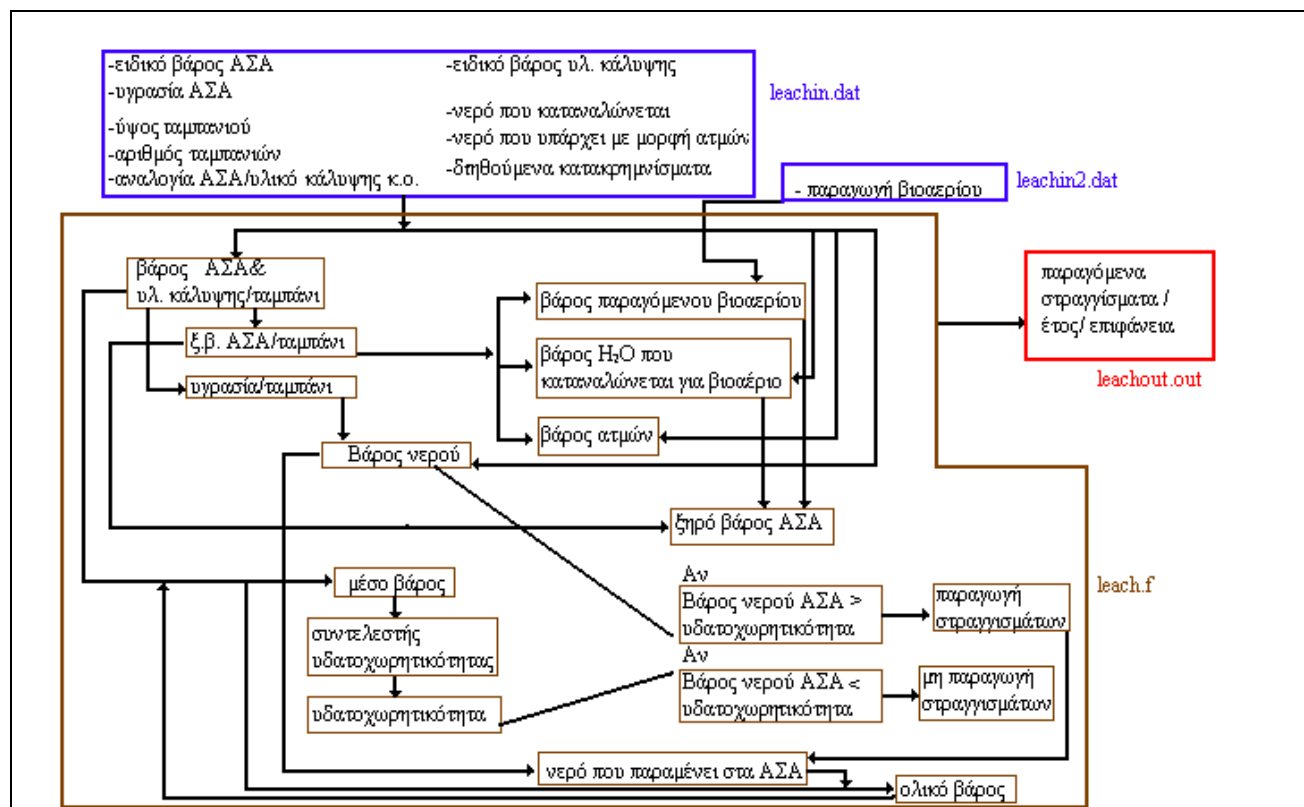
Το πρώτο αρχείο θα περιλαμβάνει το ειδικό βάρος των ΑΣΑ, την υγρασία τους (όπως εκτιμήθηκαν στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο), το ύψος και το εμβαδόν του κάθε ταμπανιού, την αναλογία ΑΣΑ- υλικό κάλυψης, τα έτη λειτουργίας του χώρου και το ειδικό βάρος του υλικού κάλυψης, τη διηθούμενη ποσότητα νερού στο ταμπάνι, όπως επίσης το νερό που καταναλώνεται ανά  $m^3$  παραγόμενου βιοαερίου, το νερό που υπάρχει με την μορφή ατμού ανά  $m^3$  παραγόμενου βιοαερίου, και το ειδικό βάρος του βιοαερίου. Το 1<sup>ο</sup> αρχείο εισόδου (leachin.dat ) λοιπόν θα έχει την ακόλουθη μορφή:

```
465
0.38
1.85
1
0.1667
7
1200
0.299
0.22
0.03
1.339
```

Το 2<sup>ο</sup> αρχείο εισόδου (leachin.dat) σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν θα έχει την ακόλουθη μορφή:

```
0
0.043055
0.07581
0.05521
0.03461
0.013825
0.003155
0.002785
0.002415
```

Ο κώδικας θα ακολουθεί την πορεία που εμφανίζεται στην εικόνα.



Εικόνα 4.20: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση των παραγόμενων διασταλλαγμάτων από το χώρο απόθεσης

και το αρχείο εξόδου `leachout.out`

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
370.07 716.85 1086.92 444.44 272.40 299.00 1385.92
*****
RESULTS PER YEAR
*****
GAS PRODUCED, M^3
0.00 30.86 54.34 39.58 24.81 9.91 2.26

WEIGHT OF GAS PRODUCED, KG
0.00 41.33 72.77 52.99 33.22 13.27 3.03

WEIGHT OF WATER CONSUMED IN THE PRODUCTION OF THE LANDFILL GAS, KG
0.00 6.79 11.96 8.71 5.46 2.18 0.50

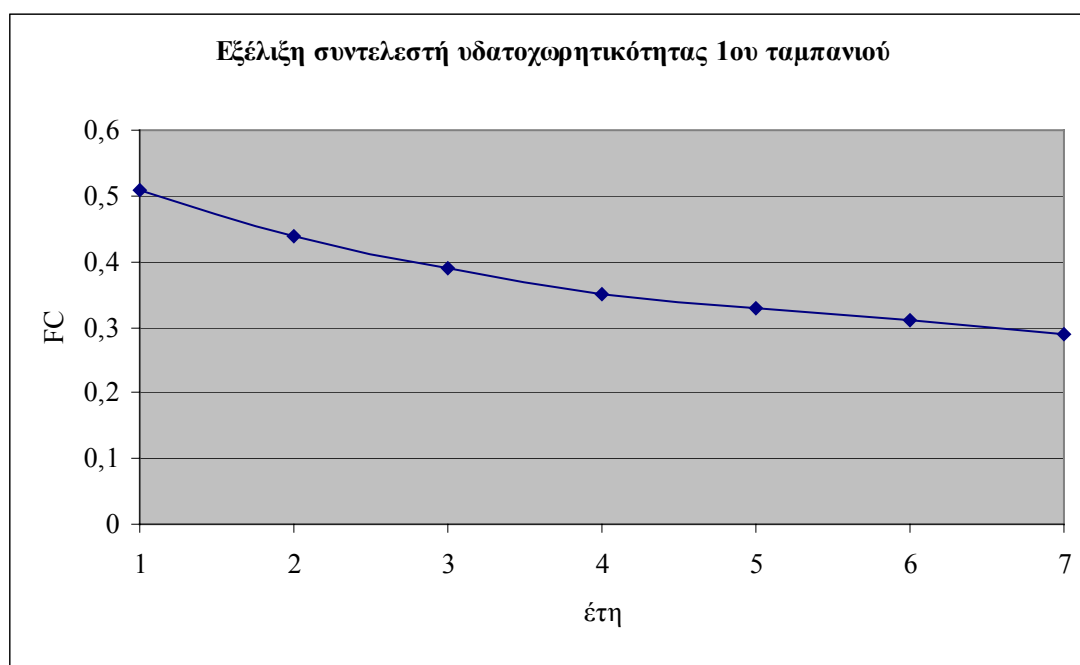
WEIGHT OF WATER VAPOR IN THE GAS, KG
0.00 0.93 1.63 1.19 0.74 0.30 0.07

WEIGHT OF WATER IN MSW IN LIFT, KG
571.40 563.69 550.10 540.21 534.00 531.53 530.96

DRY WEIGHT OF MSW REMAINING IN THE LIFT, KG
444.44 409.91 349.10 304.81 277.05 265.96 263.43

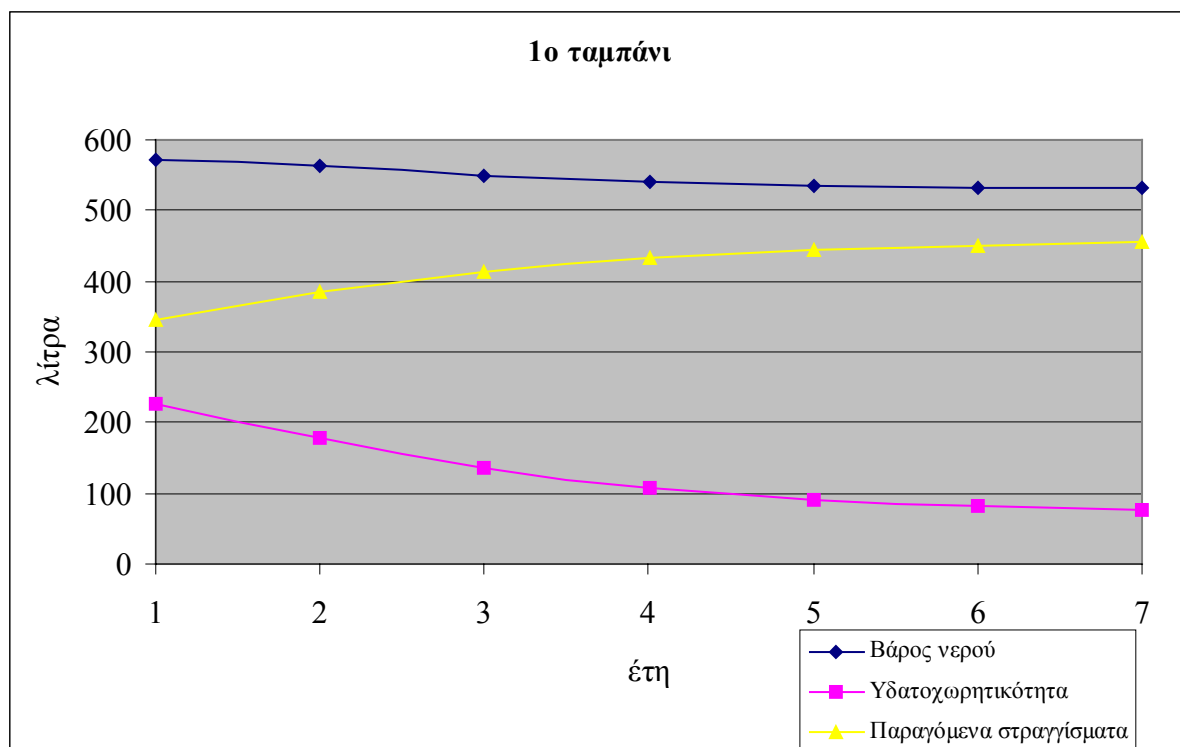
AVERAGE WEIGHT OF THE LIFT
    
```

878.00	1898.41	2820.61	3648.53	4414.57	5145.98	5862.28
FIELD CAPACITY FACTOR						
0.51	0.44	0.39	0.35	0.33	0.31	0.29
AMOUNT OF WATER THAT CAN BE HELD IN MSW, KG						
227.02	179.42	135.83	108.14	91.07	81.82	76.37
AMOUNT OF LEACHATE FORMED, KG						
344.38	384.27	414.27	432.06	442.94	449.70	454.59
AMOUNT OF WATER REMAINING IN THE LIFT, KG						
227.02	179.42	135.83	108.14	91.07	81.82	76.37
TOTAL WEIGHT OF LIFT, KG						
1041.54	959.40	855.00	783.03	738.19	717.85	709.87



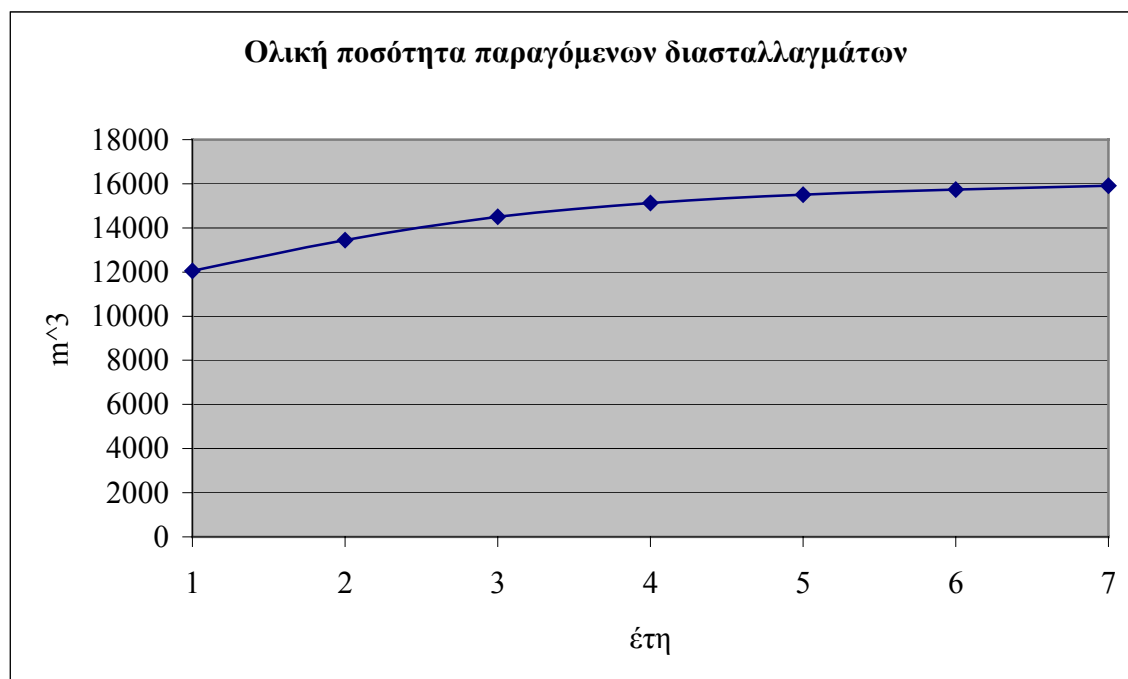
Εικόνα 4.21: Συντελεστής υδατοχωρητικότητας σε συνάρτηση με το χρόνο (XYTA)





Εικόνα 4.22: Συσχέτιση βάρους νερού, υδατοχωρητικότητας, παραγόμενων στραγγισμάτων(XYTA)

Τα διασταλλάγματα που θα παράγονται συνολικά από όλη την έκταση των 35 στρεμμάτων είναι:



Εικόνα 4.23:Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων στο XYTA

Μετά το πέρας της λειτουργίας του ΧΥΤΑ ο υπολογισμός των παραγόμενων διασταλλαγμάτων αποτελεί μια πιο περίπλοκη διαδικασία καθώς για το κάθε έτος μετά τη λειτουργία του χώρου θα πρέπει να εκτιμηθούν και τα προηγούμενα ταμπάνια. Σχεδιάζεται εκ νέου νέος κώδικας ο οποίος χρησιμοποιεί 3 αρχεία εισόδου. Το πρώτο ίδιο με προηγουμένως αλλάζοντας μόνο την τιμή της διήθησης, το δεύτερο με τις τιμές του βιοαερίου και το τρίτο με τις τιμές των υγρών που έχουν παραμείνει στα ταμπάνια το προηγούμενο έτος.

Το αρχείο εισόδου για το πρώτο έτος μετά το πέρας λειτουργίας του ΧΥΤΑ θα είναι leachin.dat

```
465
0.38
1.85
1
0.1667
7
1200
0.175
0.22
0.03
1.339
```

leachin2.dat

```
0.043
0.07581
0.05521
0.03461
0.01382
0.003155
0.002785
```

και τέλος στο αρχείο leachin3.dat

```
227.02
179.42
135.83
108.14
91.07
81.82
76.37
```

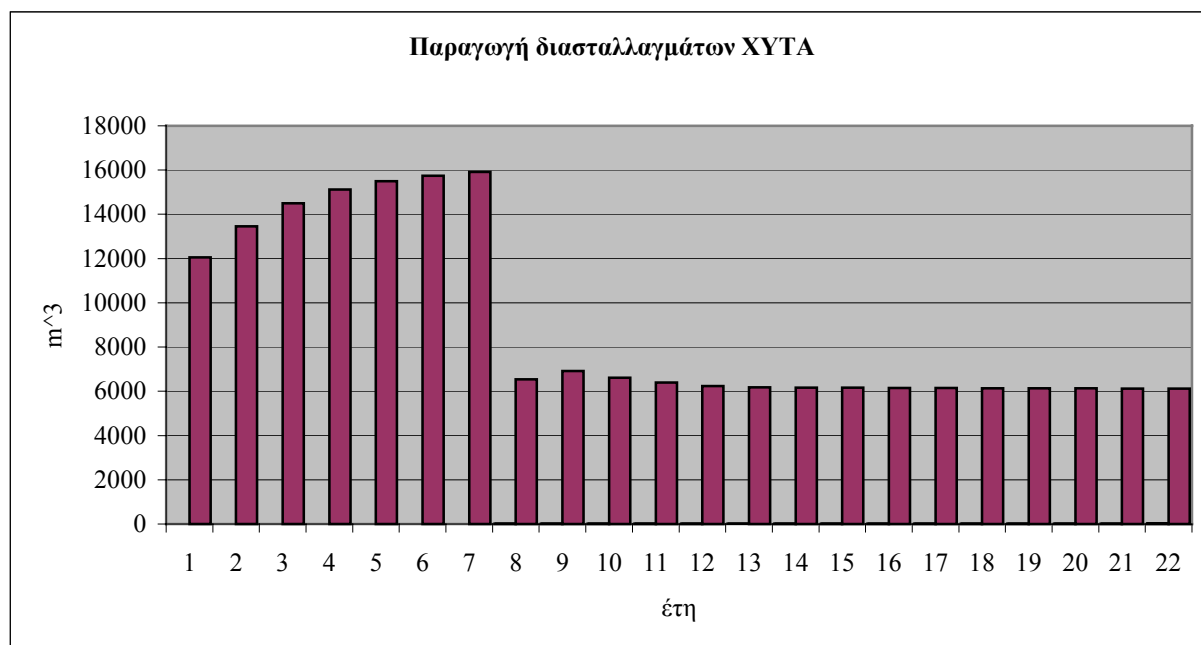
Το αρχείο εξόδου για το πρώτο έτος μετά το πέρας της λειτουργίας του ΧΥΤΑ είναι:

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
      370.07      716.85      175.00      444.44
*****
LAST YEAR
*****
30.82      54.34      39.58      24.81      9.91      2.26      2.00
41.27      72.77      52.99      33.22      13.27      3.03      2.67
6.78       11.96      8.71       5.46      2.18      0.50      0.44
0.92       1.63      1.19       0.74      0.30      0.07      0.06
394.31    346.98    316.04    295.41    282.20    272.95    265.10
409.95    349.14    304.85    277.09    266.01    263.48    261.24
772.21   1711.33   2549.80   3323.11   4059.93   4780.62   5492.85
0.52      0.45      0.40      0.37      0.34      0.32      0.30
213.17   156.88   122.57   101.81   90.50    83.72    78.04
181.15   190.11   193.47   193.60   191.70   189.23   187.06
213.17   156.88   122.57   101.81   90.50    83.72    78.04
993.19   876.09   797.50   748.97   726.58   717.27   709.36
*****
PRODUCED LEACHATE
*****
      187.06
    
```

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα επόμενα έτη έως ότου παράγονται μόνο σα στραγγίσματα τα διηθούμενα κατακρημνίσματα.

Η γραφική παράσταση που προκύπτει και απεικονίζει τα παραγόμενα από το ΧΥΤΑ διασταλλάγματα παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Εικόνα 4.24: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων και μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ

**4.9.4 Υπολογισμός παραγωγής διασταλλαγμάτων – Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ**

Εν συντομία παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα στην περίπτωση του ΧΥΤΥ.

Τα ΑΣΑ που θα φτάνουν στο ΧΥΤΥ θα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- ειδικό βάρος:  $499\text{kg/m}^3$
- αρχική υγρασία : 38,8% κ.β.

Τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απόθεσης

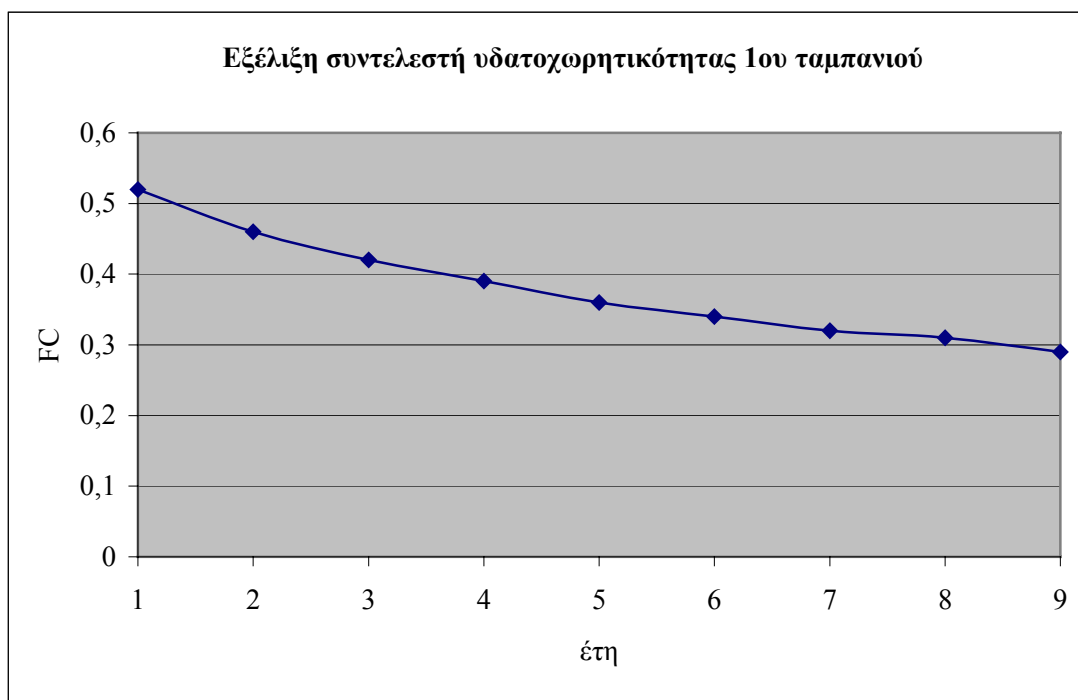
- ύψος ταμπανιού: 1,45m
- αναλογία ΑΣΑ υλικό επικάλυψης: 5/1κ.ο.
- αριθμός ταμπανιών: 9(ένα για κάθε έτος)
- Ειδικό βάρος εδάφους:  $1200\text{kg/m}^3$  (συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας)
- Η παραγωγή του βιοαερίου.

Πίνακας 4.11: Παραγωγή βιοαερίου ανά kg/ ΑΣΑ στο ΧΥΤΥ

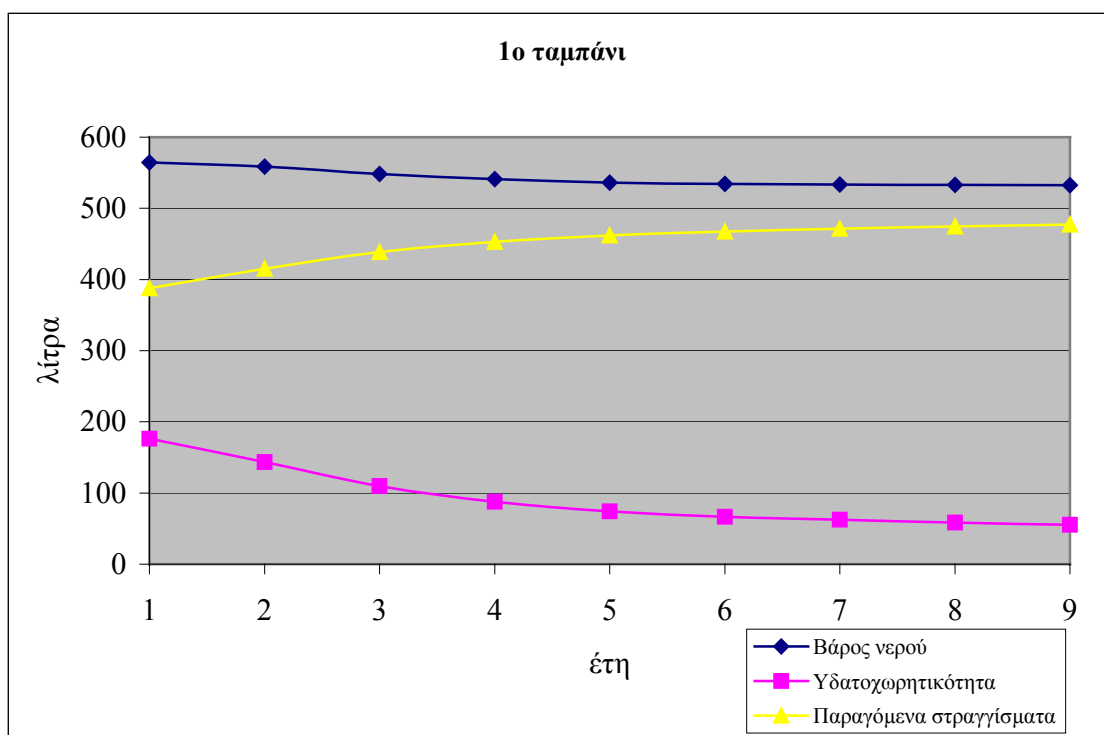
Τέλος έτους	Παραγωγή βιοαερίου $\text{m}^3/\text{kg}$
1 <sup>ου</sup>	0
2 <sup>ου</sup>	0.0398
3 <sup>ου</sup>	0.0703
4 <sup>ου</sup>	0.0515
5 <sup>ου</sup>	0.0328
6 <sup>ου</sup>	0.014
7 <sup>ου</sup>	0.0044
8 <sup>ου</sup>	0.0039
9 <sup>ου</sup>	0.0035
10 <sup>ου</sup>	0.003
11 <sup>ου</sup>	0.0025
12 <sup>ου</sup>	0.0021
13 <sup>ου</sup>	0.0016
14 <sup>ου</sup>	0.0012
15 <sup>ου</sup>	0.0007
16 <sup>ου</sup>	0.0002
17 <sup>ου</sup>	0

- το νερό που καταναλώνεται (από το αρχείο methane.out) είναι  $0,21\text{kg/m}^3$  παραγόμενου βιοαερίου
- το νερό που υπάρχει με την μορφή ατμών στο βιοαέριο και το ειδικό βάρος βιοαερίου όμοια με πριν.

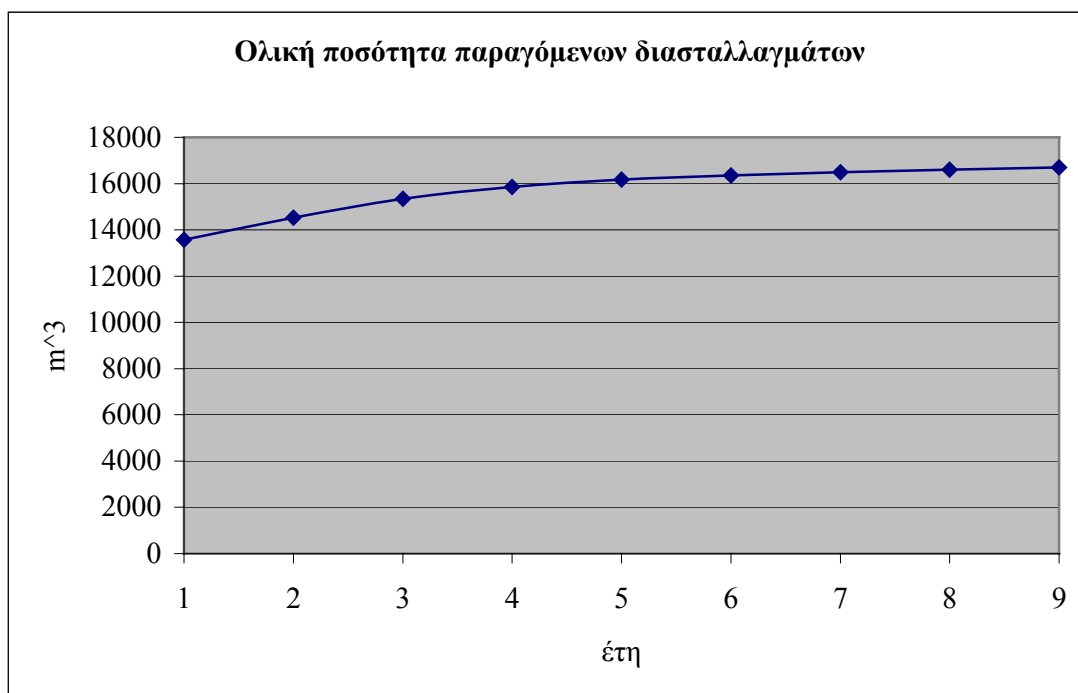
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια:



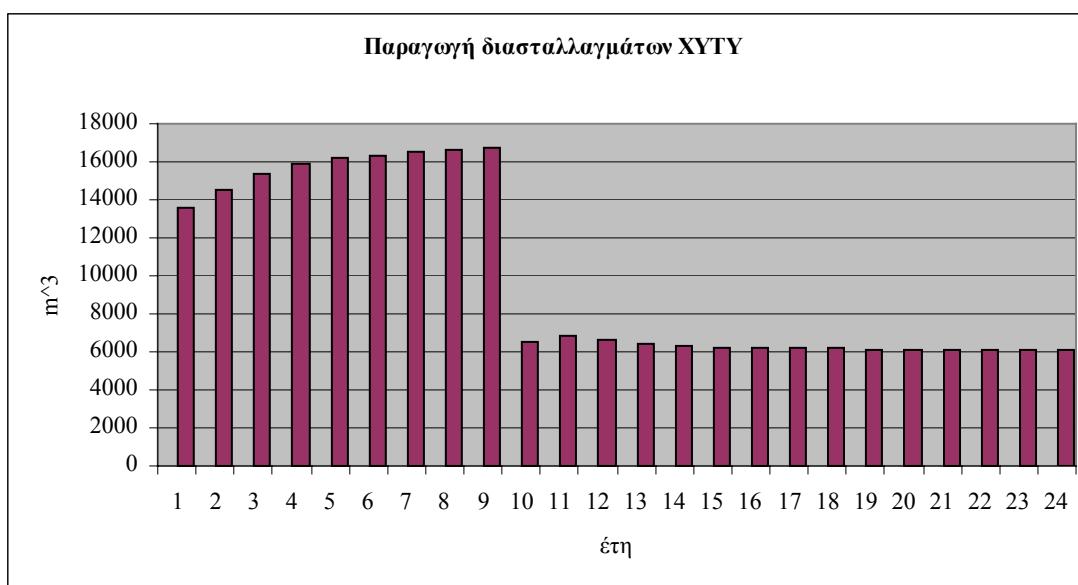
Εικόνα 4.25: Συντελεστής υδατοχωρητικότητας σε συνάρτηση με το χρόνο (XYTY)



Εικόνα 4.26: Συσχέτιση βάρους νερού, υδατοχωρητικότητας, παραγόμενων στραγγισμάτων (XYTY)



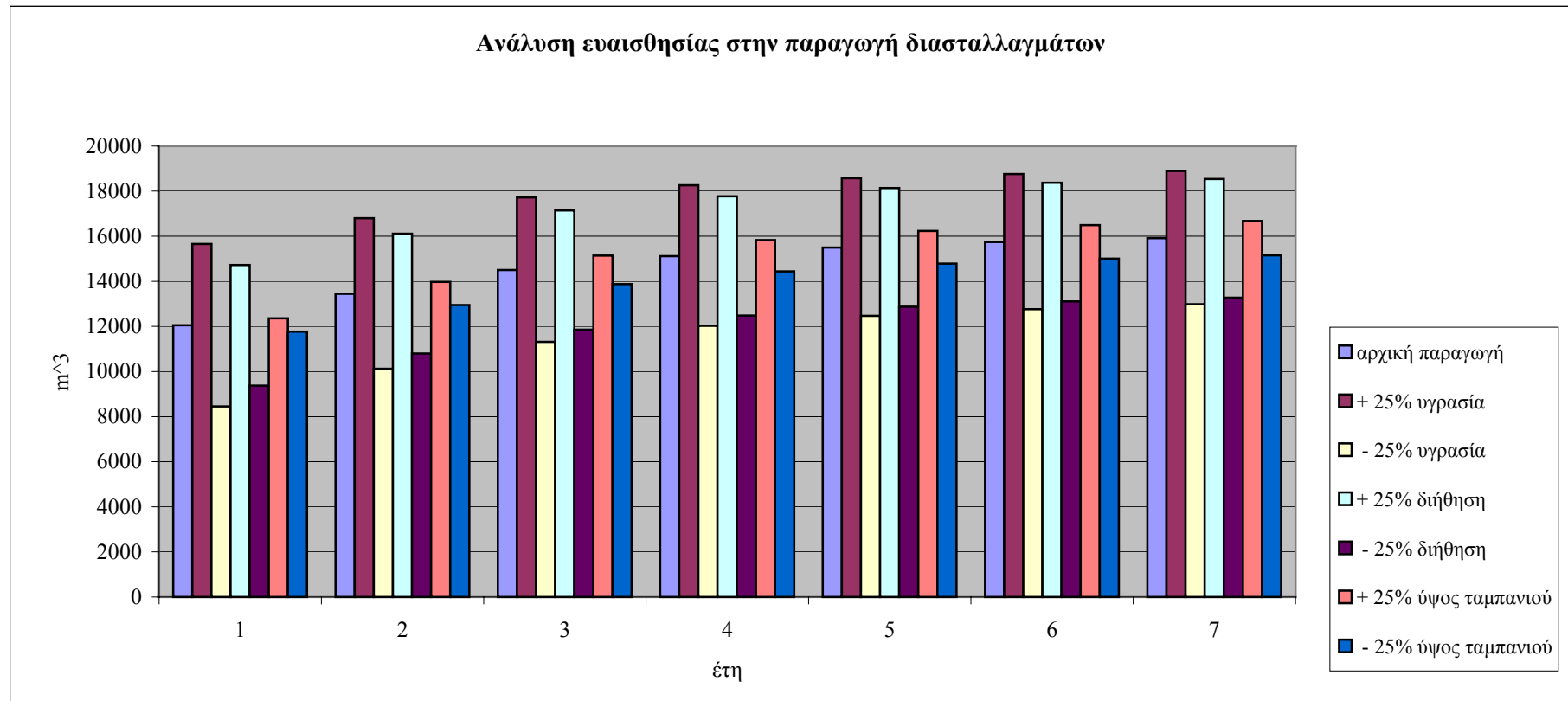
Εικόνα 4.27: Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων στο ΧΥΤΥ



Εικόνα 4.28: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων και μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΥ

Προκειμένου να βρεθεί η πιο ευαίσθητη παράμετρος, στον κώδικα υπολογισμού των παραγόμενων διασταλλαγμάτων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας.

Οι παράμετροι της υγρασίας της διήθησης και του ύψους των ταμπανιών, μεταβλήθηκαν κατά  $\pm 25\%$ . Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται γραφικά η ανάλυση ευαισθησίας.



Εικόνα 4.29: Ανάλυση ευαισθησίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΑΘΙΖΗΣΗ Α.Σ.Α.

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

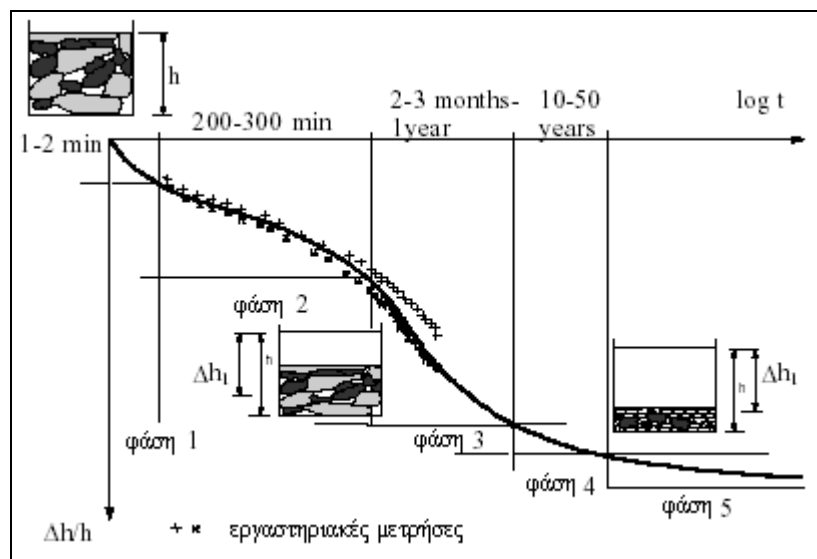
Οι μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την καθίζηση των ΑΣΑ είναι αρκετοί και περίπλοκοι. Η έντονη ανομοιογένεια των απορριμμάτων, τα μεγάλα κενά που υπάρχουν και η αποδόμησή τους με το χρόνο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία της καθίζησης. Είναι φανερό πως οι καθιζήσεις των ΑΣΑ δεν είναι τόσο κατανοητές όσο αυτές των εδαφών και για το λόγο αυτό δύσκολα εκτιμούνται με ακρίβεια.

Η καθίζηση των ΑΣΑ διέρχεται μέσω πέντε βασικών φάσεων:

- φυσική συμπίεση και μετακίνηση εξαιτίας της μηχανικής παραμόρφωσης, κονιορτοποίησης και της εναπόθεσης των ΑΣΑ,
- καθίζηση λόγω μετακίνησης μικρότερων κλασμάτων των ΑΣΑ σε χώρους όπου υπάρχουν μεγάλα κενά,
- κολλώδης συμπεριφορά και σταθεροποιητικά φαινόμενα που αφορούν τόσο το στερεό ‘κορμό’ όσο και τα επιμέρους μόρια ή συστατικά,
- καθίζηση αποδόμησης εξαιτίας της βιοαποδόμησης των οργανικών ενώσεων,
- σύνθλιψη στοιχείων λόγω φυσικοχημικών διεργασιών όπως η διάβρωση, οξειδωση και η αποδόμηση των ανόργανων συστατικών.

Οι ανωτέρω υποδιαιρέσεις της καθίζησης των ΑΣΑ φαίνονται στην επόμενη εικόνα





Εικόνα 5.1: Εξέλιξη καθίζησης σε χώρο απόθεσης [48]

Κάτω από το ίδιο τους το βάρος των ΑΣΑ, η καθίζηση μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη με μεγέθη γύρω στο 40% του αρχικού πάχους των ΑΣΑ, ενώ σύμφωνα με την [49] το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και το 50%. Είναι προφανές, ότι οι καθιζήσεις ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το βαθμό συμπίεσης που εφαρμόζεται στα ΑΣΑ κατά την διάρκειά τους. Η χρήση των σύγχρονων συμπιεστών με βάρος που κυμαίνεται από 10 έως 40 τόνους στους νέους ΧΥΤΑ οδηγούν σε αρκετά υψηλές πυκνότητες ΑΣΑ απ' ότι παλαιότερα.

Μελέτες που αφορούν τους ΧΥΤΑ δείχνουν πως η αρχική συμπίεση ουσιαστικά ολοκληρώνεται σε 10 έως 90 ημέρες. Αυτή η φάση ακολουθείται από μια δευτεροβάθμια συμπίεση που διατηρείται για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο και σχετίζεται με τη διαδικασία βιοδιάσπασης που χρειάζεται αρκετά έτη για να ολοκληρωθεί.

## 5.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

### 5.2.1 Εμπειρικό μοντέλο

Το εμπειρικό μοντέλο που παρουσιάζεται στη συνέχεια στηρίζεται σε δεδομένα από ΧΥΤΑ. [49]

$$\frac{\Delta H}{H} = CR \log \frac{\bar{P}_o + \Delta P}{P_o} + Ca_{(1)} \log \frac{t_{(2)}}{t_{(1)}} + Ca_{(2)} \log \frac{t_{(3)}}{t_{(2)}} \quad (\text{εξ.5.1})$$

όπου

$\Delta H$ : η καθίζηση

$H$ : το αρχικό πάχος του στρώματος των ΑΣΑ

$\Delta H/H$ : η κάθετη καταπόνηση

$\overline{P}_o$  : μέση αρχική κάθετη τάση στο εξεταζόμενο βάθος,

$\Delta P$ : η μέση επιφερόμενη κάθετη ενεργή τάση εξαιτίας της υπερφόρτωσης που αυξάνεται στο εξεταζόμενο βάθος,

$t_{(1)}$ : χρόνος (ημέρες) για την ολοκλήρωση της αρχικής συμπίεσης,

$t_{(2)}$ : χρόνος (ημέρες) για την ολοκλήρωση της μέσης συμπίεσης,

$t_{(3)}$ : περίοδος (ημέρες) πρόβλεψης της μέσης καθίζησης,

CR: λόγος συμπίεσης,

$C_{a(1)}$ : δείκτης μέσης δευτερεύουσας συμπίεσης,

$C_{a(1)}$ : δείκτης δευτερεύουσας συμπίεσης.

[49]

Για την αρχική καθίζηση των ΑΣΑ ισχύει η σχέση:

$$E_s = \frac{\Delta q \cdot H_o}{S_i} \quad (\text{εξ.5.2})$$

Σαν αρχική καθίζηση στην περίπτωση αυτή ορίζεται αυτή που πραγματοποιείται απ' ευθείας όταν κάποιο εξωτερικό φορτίο εφαρμόζεται στο ΧΥΤΑ.

Όσον αφορά την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια συμπίεση αναφέρονται στην βιβλιογραφία σχέσεις όπως αυτή των Holtz και Kovacs.

Για την πρωτοβάθμια συμπίεση, που συμβαίνει εξαιτίας του διασκορπισμού του νερού των πόρων και της παραγωγής του βιοαερίου, ισχύει η σχέση:

$$S_p = H_i \cdot C_{ce} \cdot \log \left[ \frac{(p_o + \Delta p)}{p_o} \right] \quad (\text{εξ.5.3})$$

ενώ η δευτεροβάθμια που σχετίζεται με την βιολογική αποδόμηση και πραγματοποιείται για αρκετά χρόνια δίνεται από την εξίσωση

$$S_s = H_p \cdot C_{ae} \cdot \log \left[ \frac{t}{t_p} \right] \quad (\text{εξ.5.4})$$

όπου

$$C_{ae} = \frac{C_a}{1 + e_p} = \frac{\Delta \tau \text{τάσης}}{\Delta \log t}$$

$$C_a = \frac{\Delta e}{\Delta \log t}$$

$$e_p = \frac{W_p \cdot \rho_s}{s \cdot \rho_w} = \frac{V_v}{V_s}$$

$$C_a = (0,03-0,09)e_p$$

$C_a$ : δευτεροβάθμιος δείκτης συμπίεσης,

$C_{ae}$ : ρυθμός δευτεροβάθμιας συμπίεσης,

$C_c$ : πρωτοβάθμιος δείκτης συμπίεσης,

$C_{ae}$ : τροποποιημένος πρωτοβάθμιος δείκτης συμπίεσης,

$E_s$ : βαθμός ελαστικότητας ( $kN/m^2$ ),

$e_o$ : αναλογία κενών μετά την αρχική συμπίεση,

$e_p$ : αναλογία κενών μετά την πρωτοβάθμια συμπίεση,

$H_i$ : ύψος ΑΣΑ μετά την μετά την αρχική συμπίεση ,

$H_o$ : αρχικό ύψος ΑΣΑ (m),

$H_p$ : ύψος ΑΣΑ μετά την μετά την πρωτοβάθμια συμπίεση (m),

$S_i$ : καθίζηση εξαιτίας αρχικής συμπίεσης,

$S_p$ : καθίζηση εξαιτίας πρωτοβάθμιας συμπίεσης,

$S_s$ : καθίζηση εξαιτίας δευτεροβάθμιας συμπίεσης,

$s$ : βαθμός κορεσμού,

$t_p$ : χρόνος αρχικής συμπίεσης,

$V_s$ : όγκος στερεών,

$V_u$ : όγκος κενών,

$W_p$ : περιεχόμενη υγρασία ΑΣΑ μετά την πρωτοβάθμια συμπίεση,

$\Delta p$ : αύξηση υπερκείμενης πίεσης στο μέσο του στρώματος,

$\Delta q$ : αύξηση τάσης στο στρώμα ( $kN/m^2$ ),

$\rho_s$ : πυκνότητα ΑΣΑ,

$\rho_w$ : πυκνότητα νερού,

Τυπικές τιμές για τους δείκτες  $C_{ce}$  και  $C_{ae}$  παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 5.1: Παράμετροι συμπίεσης ΑΣΑ [49]

Αναφορά	$C_{ce}$	$C_{ae}$
Rao et al. (1977)	0,16-0,235	0,012-0,046
Converse (1975)	0,25-0,3	0,07
Zoino(1974)	0,15-0,33	0,013-0,03
Sowers (1973) (για $e_o=3$ )	0,1-0,41	0,02-0,07
Oweis and Khera (1986)	0,08-0,217	-
Landva et al. (1984)	0,2-0,5	0,0005-0,029

### 5.2.2 Μοντέλο Meissner

Το 1996 ο Meissner πρότεινε ένα μοντέλο το οποίο χωρίζεται σε δύο μέρη, καθίζηση και βιοασταθεροποίηση. Η καθίζηση συνδέεται με τις ελαστο-πλαστικές παραμορφώσεις η πραγματοποίηση της οποίας γίνεται τις πρώτες ημέρες της τοποθέτησης των ΑΣΑ και υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης:

$$\Delta S_i = d_1 \sigma_v / E_m \quad (\text{εξ.5.5})$$

όπου

$d_1$ : το πάχος του στρώματος και

$E_m$ : συντελεστής

Η βιοασταθεροποίηση σχετίζεται με τη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου και δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S_s (\Delta t) = 0,015 d_1 [e^{-\tau 1,2} - e^{-\tau 1,1} - 15(e^{-\tau 2,2} - e^{-\tau 2,1})] \quad (\text{εξ.5.6})$$

όπου η παράμετρος  $\tau$  σχετίζεται με την παραγωγή του βιοαερίου. [49]

### 5.2.3 Μοντέλο

Σύμφωνα με την [11] η επόμενη σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αύξηση του ειδικού βάρους των ΑΣΑ σαν συνάρτηση της υπερκείμενης πίεσης.

$$SW_p = SW_i + \frac{p}{a + bp} \quad (\text{εξ.5.7})$$

όπου

$SW_p$ : το ειδικό βάρος των ΑΣΑ σε πίεση  $p$ ,  $\text{kg/m}^3$

$SW_i$ : αρχικό ειδικό βάρος απορριμμάτων,  $\text{kg/m}^3$

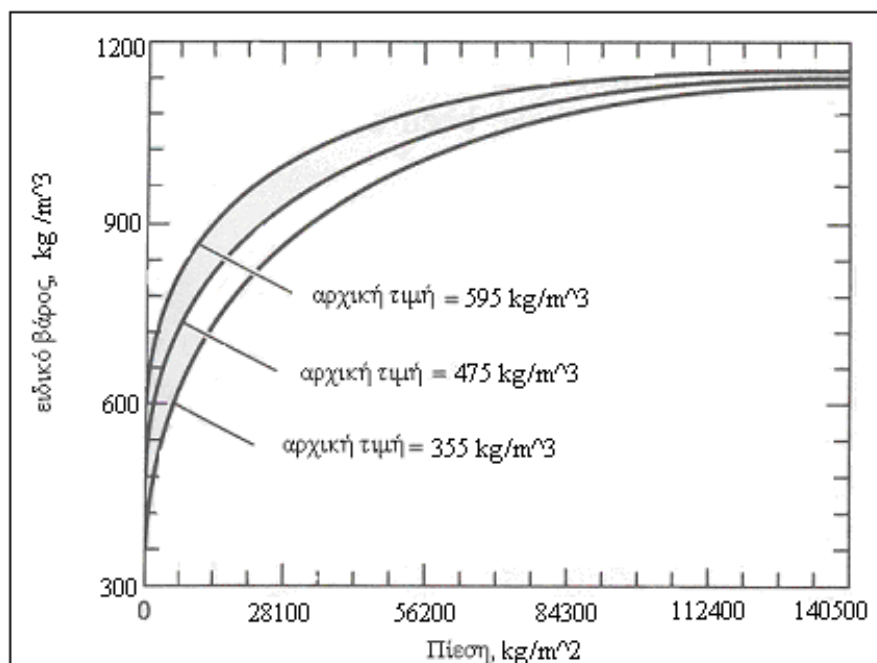
$p$ : πίεσης υπερφόρτωσης,  $\text{kg/m}^2$

$a$ : εμπειρική σταθερά, (m)

$b$ : εμπειρική σταθερά, ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

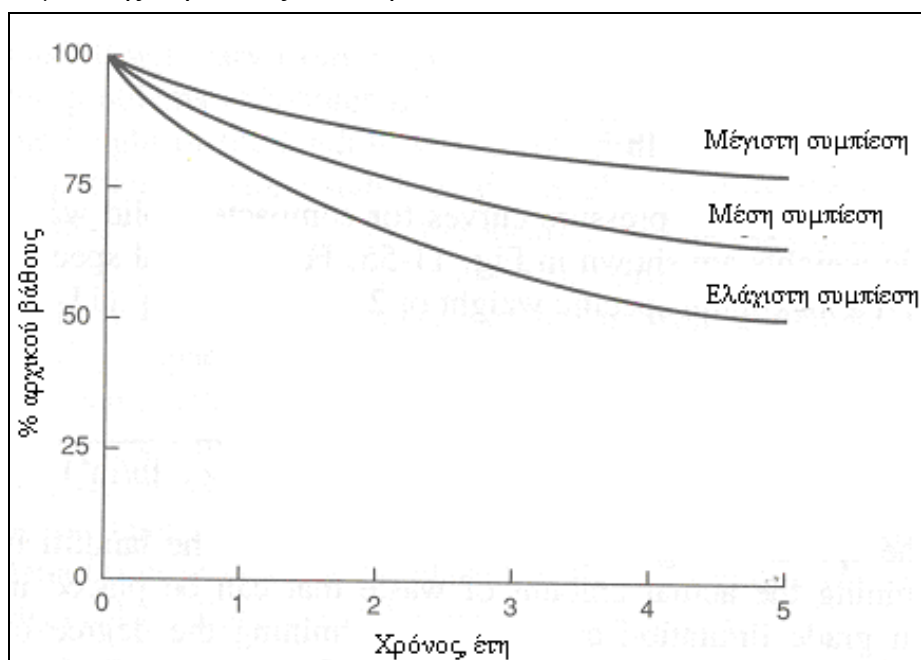
Τυπικές τιμές των  $a$  και  $b$  είναι  $15,58\text{m}$  και  $1,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Η εξέλιξη του ειδικού βάρους των ΑΣΑ για 3 αρχικές τιμές φαίνεται στο επόμενο γράφημα.



Εικόνα 5.2: Ειδικό βάρος ΑΣΑ που αποτίθενται σε ΧΥΤΑ συναρτήσει του αρχικού ειδικού βάρους τους και της πίεσης υπερφόρτωσης. [11]

Ο βαθμός της καθίζησης που αναμένεται σε ένα ΧΥΤΑ σαν συνάρτηση της αρχικής συμπίεσης παρουσιάζεται στην εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Επιφανειακή καθίζηση ΧΥΤΑ [11]

## 5.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 5.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ

Το πρώτο βήμα για τη διαδικασία υπολογισμού της καθίζησης στο ΧΥΤΑ παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Υπολογισμός ύψους του 7<sup>ου</sup> ταμπανιού.

Το ολικό πόσο των απορριμμάτων στο ταμπάνι 7 στο τέλος του 7<sup>ου</sup> έτους είναι 671,07kg. (Συνολικά: 1041,54kg και υλικό κάλυψης: 370,07kg). Η πίεση στο μέσο του ταμπανιού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = \left( 370,07kg + \frac{671,47kg}{2} \right) / \frac{1}{m^2} = 705,81kg / m^2$$

Το ειδικό βάρος σχετίζεται με την πίεση σύμφωνα με τη σχέση ( )

$$SW_p = 465kg / m^3 + \frac{705,81kg / m^2}{15,58m + 1,68 \cdot 10^{-3} m^3 / kg \cdot 705,81kg / m^2} = 507,1kg / m^3$$

Το ύψος των ΑΣΑ του 9<sup>ου</sup> ταμπανιού σχετίζεται με το ποσό των ΑΣΑ που παραμένουν στο ταμπάνι στο τέλος του έτους συνεκτιμώντας τις προσθήκες ή απώλειες του νερού και το μέσο ειδικό βάρος του.

Τα ΑΣΑ που παραμένουν στο ταμπάνι,  $kg = SW_p (kg/m^3) \cdot (1m^2) \cdot H(m)$

$$671,47kg = 507,1kg/m^3 \cdot (1m^2) \cdot H(m)$$

$$\Rightarrow H = 1,32M$$

το ύψος του υλικού επικάλυψης ισούται με το 1/6 του ύψους του ταμπανιού, δηλαδή  $H_{υλ.} = 0,31M$  οπότε το ολικό ύψος του ταμπανιού είναι 1,63. Το ύψος δηλαδή του ταμπανιού στο τέλος του ενάτου έτους είναι μειωμένο κατά 0,22m.

Με παρόμοια διαδικασία υπολογίζεται και το ύψος των υποκείμενων ταμπανιών. Στην περίπτωση αυτή διαφοροποιείται η πίεση καθώς λαμβάνεται υπόψη το βάρος των υπερκείμενων.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις κατασκευάστηκε κώδικας FORTRAN ο οποίος γραφικά έχει ως εξής:

Το αρχείο εισόδου το πρώτο είναι όμοιο με το αρχείο leachin.dat

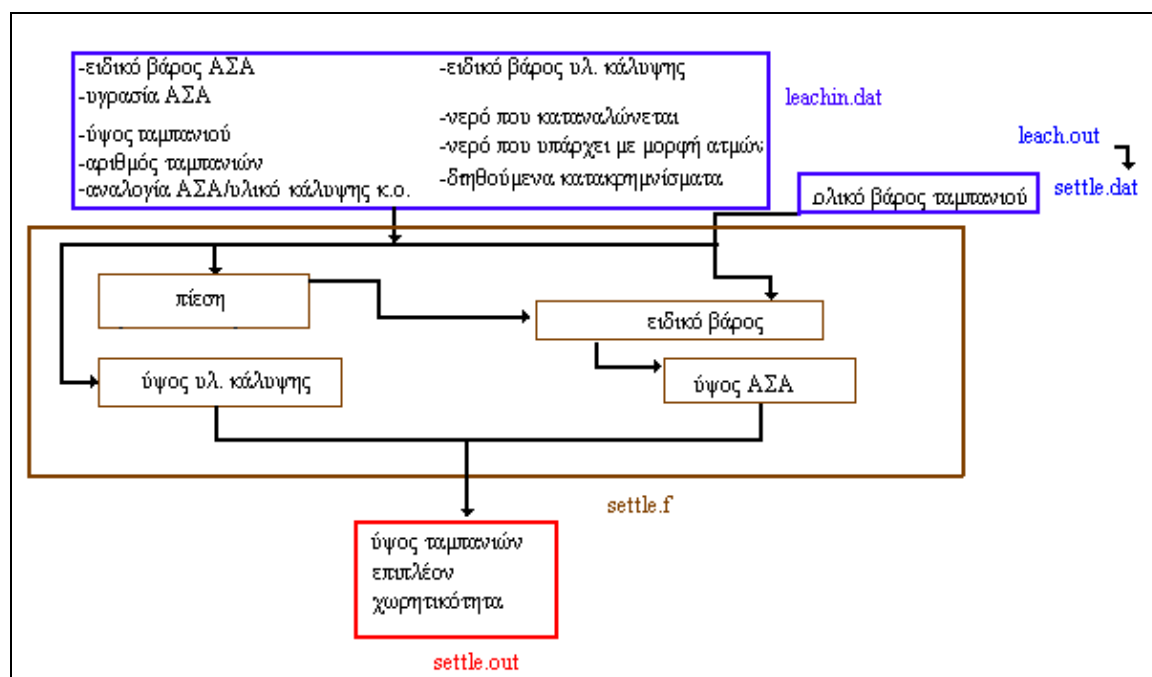
```
465
0.38
1.85
1
0.1667
7
1200
0.299
0.22
```

0.03  
1.339

Το δεύτερο αρχείο settle.dat αποτελείται από το ολικό βάρος του ταμπανιού ανά έτος, που έχει προκύψει στο αρχείο εξόδου (κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>, settle.out).

1041.54  
959.40  
855.00  
783.03  
738.19  
717.85  
709.87

Ο κώδικας του προγράμματος απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5.4: Δομή προγράμματος για την εκτίμηση καθίζησης

Το αρχείο εξόδου του προγράμματος ακολουθεί:

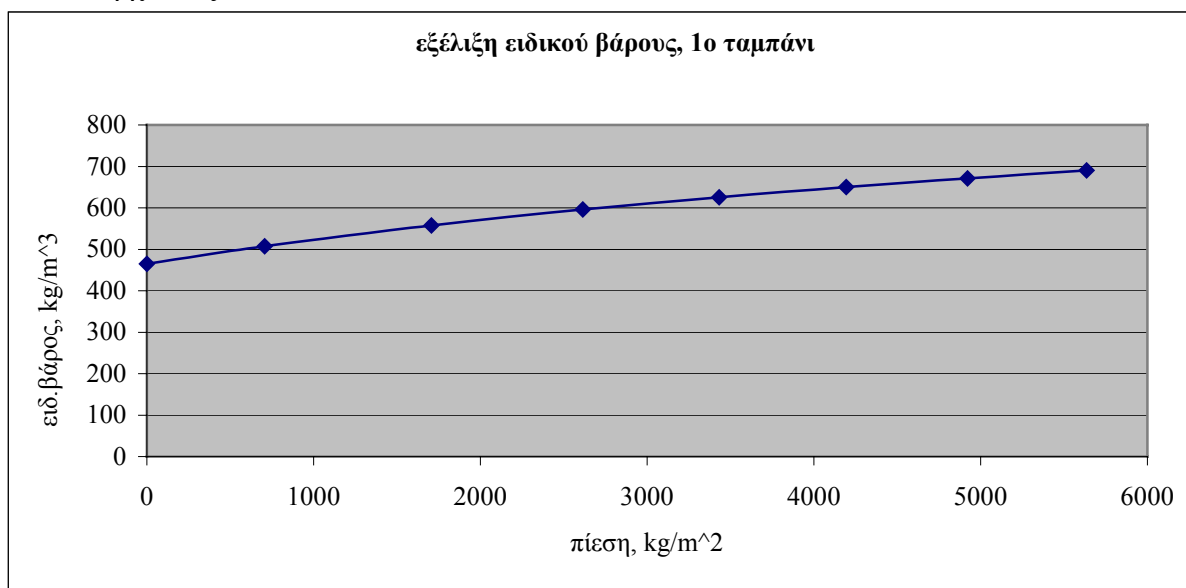
```

*****
COVER MATERIAL
*****
  370.07  716.85
*****
COVER MATERIAL & OVERBURDEN PRESSURE, KG
*****
  370.07    1411.61    2371.01    3226.01    4009.04    4747.23    5465.08
*****
PRESSURE AT THE MIDPOINT OF THE LIFT KG/M^3
*****
  705.81    1706.28    2613.48    3432.49    4193.10    4921.12    5634.98
*****
SPECIFIC WEIGHT FROM THE PRESSURE KG/M^3
*****
  507.10    557.50    595.87    625.80    650.34    671.36    689.98
*****
MSW HEIGHT, M
*****
  1.32    1.06    0.81    0.66    0.57    0.52    0.49
*****
LIFT HEIGHT, M
*****
  1.63    1.37    1.12    0.97    0.87    0.83    0.80
*****
TOTAL CELL HEIGHT, M
*****
  7.59
*****
ADDITIONAL CAPACITY, %
*****
  70.61
*****
ADDITIONAL AMOUNT OF WASTE KG/M^2
*****
  3543.36

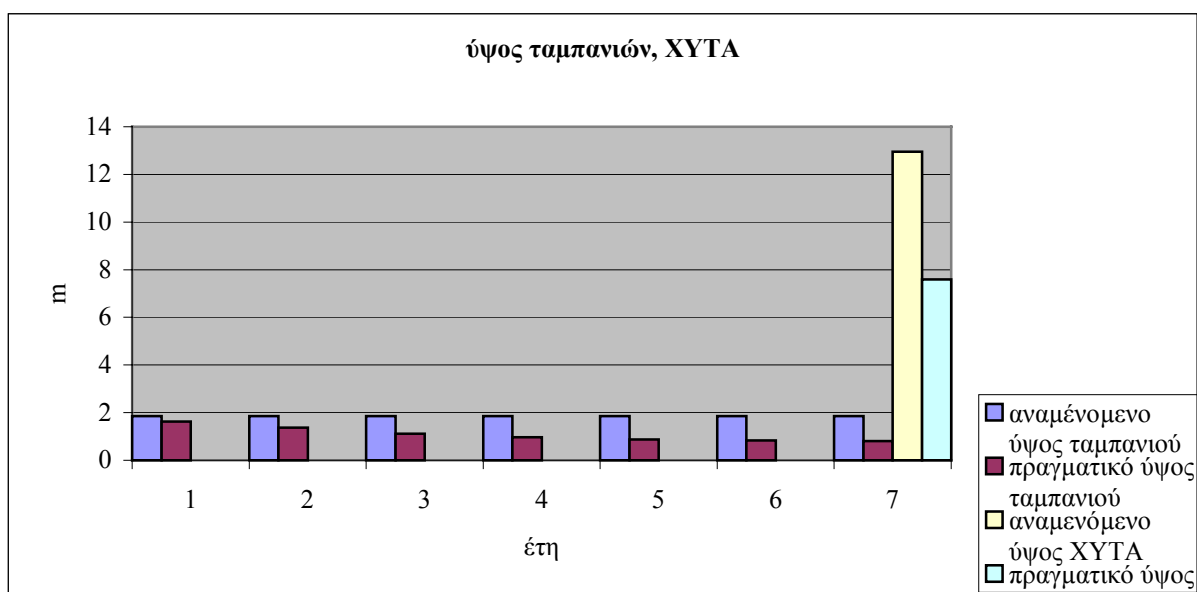
```



Από το αρχείο εξόδου



Εικόνα 5.5: Εξέλιξη ειδικού βάρους ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ

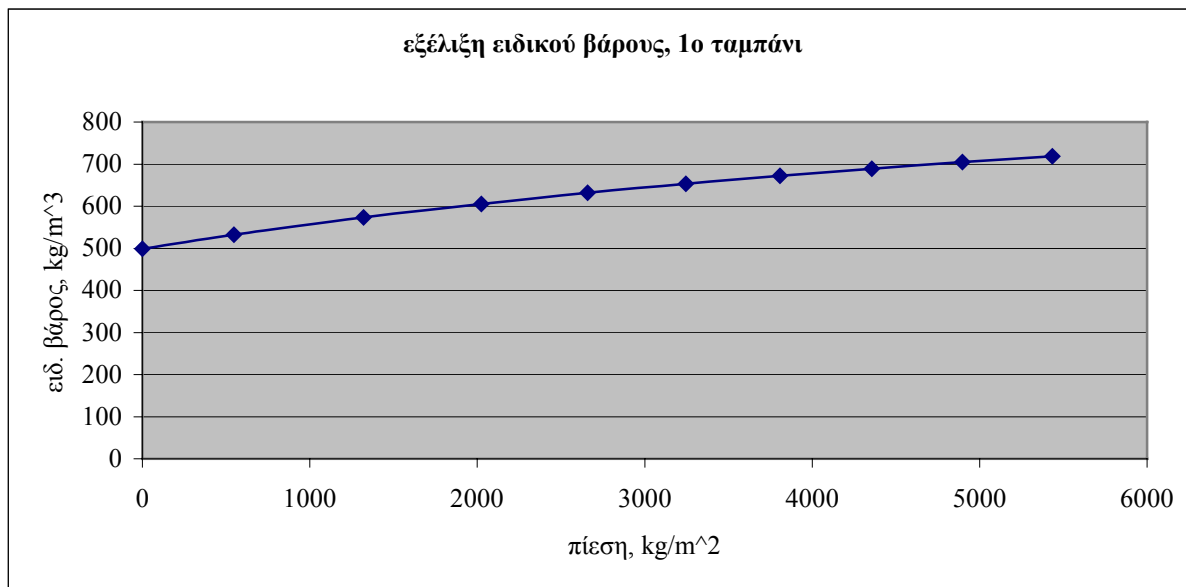


Εικόνα 5.6: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο ΧΥΤΑ

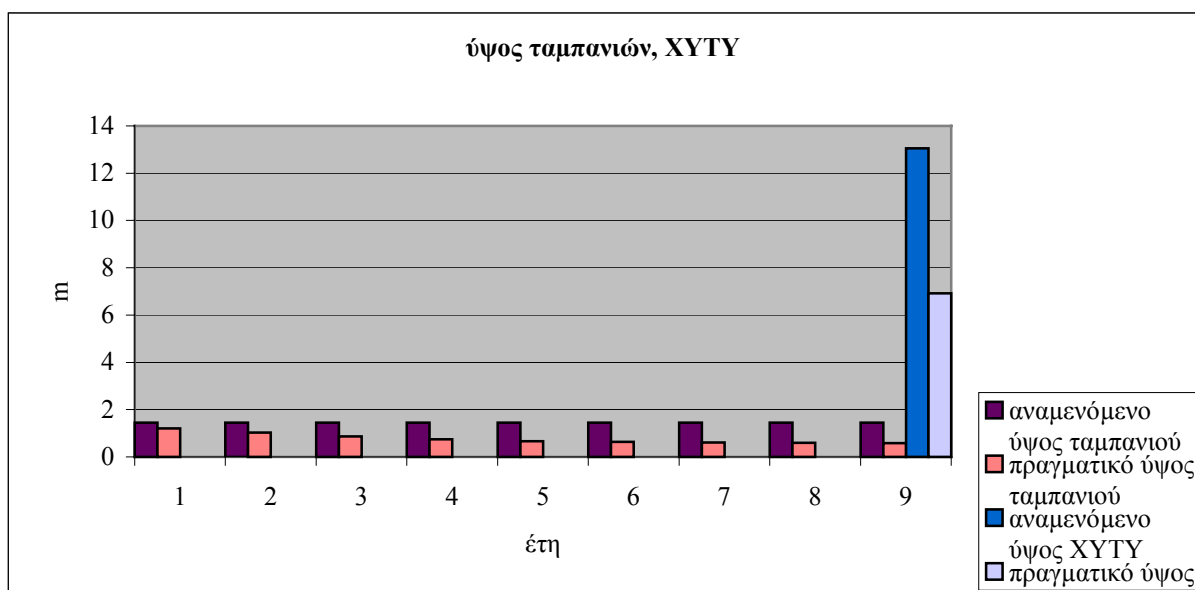
Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται στην περίπτωση του ΧΥΤΥ οπότε και προκύπτουν τα διαγράμματα της επόμενης σελίδας.

### 5.4.2 Περίπτωση 2. ΧΥΤΥ

Τα αρχεία εισόδου και εξόδου του παρουσιάζονται στο παράρτημα



Εικόνα 5.7: Εξέλιξη ειδικού βάρους ΑΣΑ στο ΧΥΤΥ



Εικόνα 5.8: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο ΧΥΤΥ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ

#### 6.1 ΜΟΝΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΣΑ

Για την εύκολη και ορθολογική λειτουργία του ΧΥΤΑ, προϋπόθεση αποτελεί η κατάλληλη διαμόρφωση του πυθμένα ώστε να δημιουργούνται ήπιες κλίσεις και να γίνεται άνετα η κυκλοφορία μέσα σε αυτόν. Κατά τη διαμόρφωση του χώρου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κλίση του πυθμένα ώστε να οδηγούνται τα στραγγίσματα με φυσική ροή προς την εγκατάσταση επεξεργασίας. Οι κλίσεις κυμαίνονται περίπου στο 5%. Οι κλίσεις επιπέδων των πρανών θα πρέπει να είναι 1:3. [50]

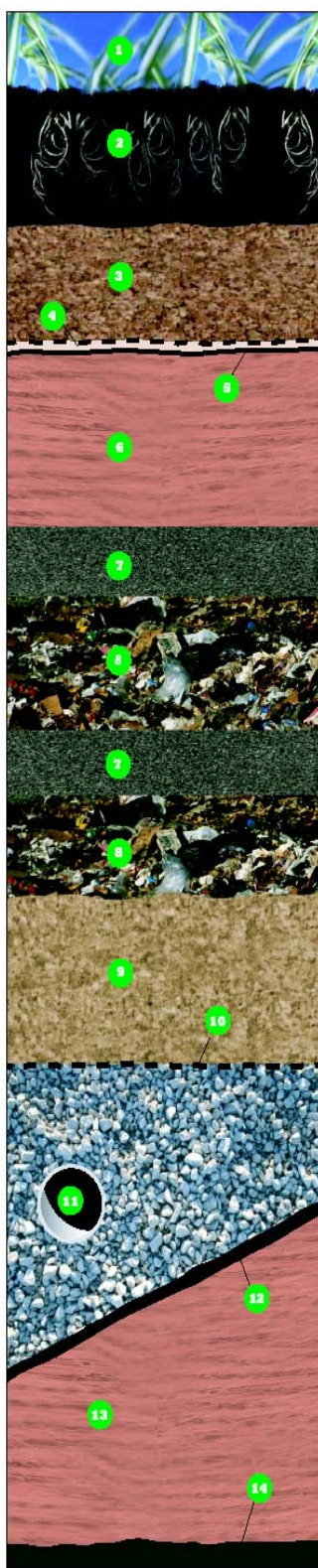
Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μόνωσης γίνεται με τρόπο ώστε

- να ελαχιστοποιείται ή και να μηδενίζεται η διαφυγή στραγγισμάτων και η διαρροή ή μετακίνηση βιοαερίου από την βάση και τα πλευρικά τοιχώματα του χώρου και
- να διασφαλίζονται οι δυνατότητες αποτελεσματικής συλλογής των στραγγισμάτων και του βιοαερίου.

Η προστασία του εδάφους, των υπογείων και επιφανειακών υδάτων επιτυγχάνεται με το συνδυασμό των παρακάτω συντελεστών:

- φυσική υπάρχουσα μόνωση,
- σύστημα τεχνητής μόνωσης από συμπιεσμένα αργιλικά υλικά και συνθετική μεμβράνη,
- σύστημα αποστράγγισης και συλλογής στραγγισμάτων.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω συντελεστών λαμβάνονται υπόψη τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφών, καθώς και το είδος των προς διάθεση ΑΣΑ.



Στην εικόνα 6.1 παρουσιάζεται ο ορθός τρόπος κατασκευής και αποκατάστασης ενός ΧΥΤΑ. [50]

### 1. Φυτοκάλυψη

Για αισθητικούς αλλά και για ουσιαστικούς λόγους όπως η αποτροπή της διάβρωσης των υποκείμενων στρωμάτων είναι αναγκαία η φυτοκάλυψη η οποία συνήθως αποτελείται από γρασίδι ή θάμνους.

### 2. Ανώτερο έδαφος

Υποστηρίζει και διατηρεί την ανάπτυξη της βλάστησης με τη διατήρηση της υγρασίας και την παροχή των θρεπτικών ουσιών.

### 3. Έδαφος προστασίας

Προστατεύει το κάλυμμα του ΧΥΤΑ και παρέχει πρόσθετη διατήρηση υγρασίας υποστηρίζοντας έτσι την βλάστηση κάλυψης.

### 4. Στρώμα αποστράγγισης

Συγκεντρώνονται τα κατακρημνίσματα που περνούν από τα προηγούμενα εδάφη και συγχρόνως παρέχει προστασία στη γεωμεμβράνη που υπόκειται.

### 5. Γεωμεμβράνη

Πρόκειται για μεμβράνη από πολυμερή υλικά με υψηλό μοριακό βάρος (PVC, HDPE και CPE).

Το πάχος των φύλλων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5mm Η γεωμεμβράνη εμποδίζει τα κατακρημνίσματα να εισέρχονται στα ΑΣΑ και να δημιουργούνται διασταλλάγματα. Αποτρέπει επιπλέον τη διαρροή βιοαερίου και των επακόλουθων οσμών.

### 6. Συμπιεσμένη Άργιλος

Τοποθετείται πάνω από τα ΑΣΑ και διαμορφώνει την κάλυψη του χώρου όταν η κυψέλη φτάσει στο επιθυμητό ύψος.

Εικόνα 6.1: Ορθός σχεδιασμός ΧΥΤΑ [50]

### *7. Καθημερινή κάλυψη*

Στο τέλος κάθε εργάσιμης περιόδου τα ΑΣΑ καλύπτονται από 12-30cm χώματος ή άλλου είδους εγκεκριμένο υλικό. Η καθημερινή κάλυψη εμποδίζει την έκλυση οσμών και τη διασπορά των ΑΣΑ λόγω του ανέμου.

### *8. ΑΣΑ*

Τα ΑΣΑ συμπιέζονται σε στρώσεις ώστε να καταλαμβάνουν τον ελάχιστο δυνατό χώρο.

### *9. Στρώμα συλλογής στραγγισμάτων*

Η επιλογή του υλικού της ζώνης αποστράγγισης των στραγγισμάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη το βάρος των υπερκειμένων απορριμμάτων και τις χημικές επιδράσεις των ίδιων των στραγγισμάτων.

Το αποστραγγιστικό στρώμα αποτελείται από σκληρό κατά προτίμηση στρογγυλεμένο αμμοχάλικο κατάλληλης διαβάθμισης χωρίς οργανικές ουσίες και ανώτατο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 20% κ.β.

### *10. Προστασία της μεμβράνης*

Πάνω από τη γεωμεμβράνη τοποθετείται το γεώφασμα και μία στρώση πάχους τουλάχιστον 10cm, από θραυστό υλικό, διαμέτρου κόκκων μικρότερης ή ίσης των 8mm, κατά προτίμηση από άμμο θαλάσσης (υλικό φτωχό σε ανθρακικό ασβέστιο).

Η επικάλυψη των φύλλων του γεωφάσματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 50cm.

### *11. Αγωγοί συλλογής στραγγισμάτων*

Η διαστασιολόγηση των αγωγών γίνεται σε συνάρτηση με τη μέγιστη διάρκεια και την ένταση της βροχόπτωσης της τελευταίας 20ετίας, το υπάρχον ανάγλυφο, τις εδαφομηχανικές παραμέτρους της ζώνης αποστράγγισης, το είδος και την ποιότητα των αγωγών και τα υπερκείμενα φορτία των απορριμμάτων.

Η διάμετρος των αγωγών πρέπει να επιτρέπει την ελεύθερη ροή των στραγγισμάτων προς τα σημεία συλλογής στραγγισμάτων κατάντη του ΧΥΤΑ.

Οι αγωγοί αποστράγγισης πρέπει να είναι χημικά ανθεκτικοί, μηχανικά σταθεροί και υδραυλικά αποδοτικοί τόσο κατά την φάση λειτουργίας όσο και κατά τη φάση της μετέπειτα φροντίδας του ΧΥΤΑ.

### *12. Γεωμεμβράνη*

Όμοια με αυτήν που περιγράφηκε πριν κατά την αποκατάσταση του χώρου.

### *13. Αργιλική μονωτική στρώση.*

Ο συντελεστής υδροπερατότητας τόσο στον πυθμένα όσο και στα περιμετρικά πρηνή πρέπει να είναι μικρότερος από  $1 \cdot 10^{-9}$  m/sec.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις ως προς τα εδαφικά υλικά προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω συντελεστής υδροπερατότητας είναι:

Το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού να αντιστοιχεί στο 20% κ.β. κατ' ελάχιστον ενώ του οργανικού υλικού και του ανθρακικού ασβεστίου να μην υπερβαίνουν το 5% κ.β. και το 20% αντίστοιχα. Τέλος, το ποσοστό του χονδρόκοκκου υλικού της στρώσης, η

διάμετρος του οποίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 32 mm και πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο με 40% επί του ολικού όγκου. Εφόσον τα διαθέσιμα υλικά δεν κρίνονται κατάλληλα, τότε μπορεί να γίνει ανάμειξή τους με επεξεργασμένα υλικά, όπως ο μπετονίτης.

#### 14. Επιφάνεια εξομάλυνσης

Προκειμένου να ξεκινήσουν οι εργασίες κατασκευής της μονωτικής στρώσης απαιτείται καθαρισμός και εξομάλυνση της υπάρχουσας φυσικής επιφάνειας του εδάφους. Ο βαθμός συμπίεσης για όλη την επιφάνεια εξομάλυνσης θα πρέπει να είναι  $DP_r > 0,95$ . [50]

Τα στραγγίσματα πρέπει να καταλήγουν, ακολουθώντας το συντομότερο δυνατό δρόμο (ελεύθερη ροή), σε δεξαμενή αποθήκευσης κατάντη του ΧΥΤΑ. Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής γίνεται με βάση τις απορροές του πλέον βροχερού μήνα της τελευταίας 20ετίας Σε κάθε περίπτωση η χωρητικότητα της δεξαμενής πρέπει να επαρκεί για την αποθήκευση στραγγισμάτων 3-4 ημερών.

## 6.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία κατά το σχεδιασμό του συστήματος συλλογής στραγγισμάτων θα πρέπει :

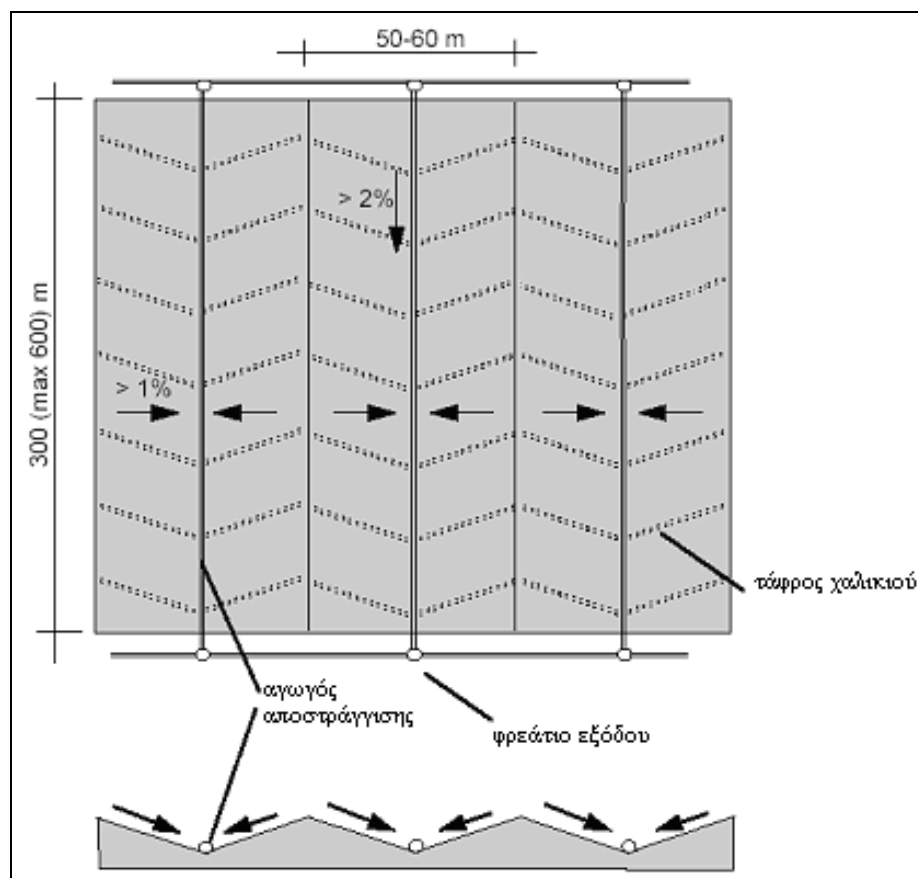
- η διαμήκης κλίση των αγωγών να είναι μεγαλύτερο από 2%
- η ελάχιστη διαγώνια κλίση μεγαλύτερη 1%
- το πορώδες του στρώματος αποστράγγισης να είναι υψηλό
- το υλικό να αποτελείται από καθαρό στρογγυλεμένο αμμοχάλικο
- η μικρή απόσταση μεταξύ των αγωγών (50-60 μ)
- η διάμετρος των αγωγών μεγαλύτερη από 200mm
- το ελάχιστο πάχος του στρώματος αποστράγγισης 50cm.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ στους ελληνικούς ΧΥΤΑ η κλίση των αγωγών πρέπει να είναι τουλάχιστον 5%, οι αποστάσεις μεταξύ των αγωγών δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 40m ενώ ανά διαστήματα (τουλάχιστον 300m), πρέπει να κατασκευάζεται φρεάτιο ελέγχου. Στα φρεάτια ελέγχου εντός του χώρου δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή τους, έτσι ώστε να μην προκληθεί ζημιά στη μόνωση.

Παράλληλα, οι αγωγοί θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί σε χημικές ουσίες, σταθεροί και υδραυλικά αποδοτικοί και οι οπές να καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειας τους. Τέλος, η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος είναι αναγκαίο να είναι μεγαλύτερο από 150mm.

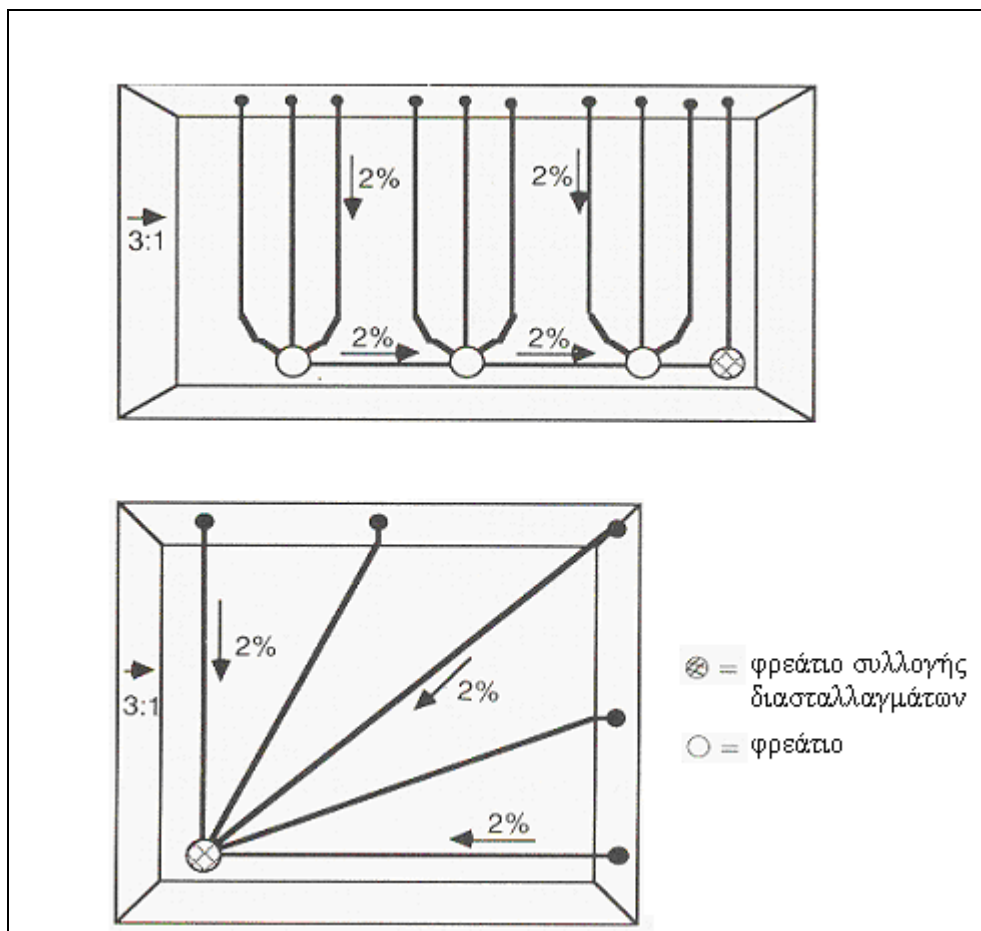
Θα πρέπει επιπλέον, να είναι σχεδιασμένοι ώστε να μην υφίστανται καμία στρέβλωση τόσο κατά την κατασκευή, όσο και κατά την λειτουργία του χώρου. Συνήθως χρησιμοποιούνται αγωγοί από HDPE ή PVC.

Η διαστασιολόγηση των αγωγών γίνεται σε συνάρτηση με την μέγιστη διάρκεια και ένταση της βροχόπτωσης της τελευταίας εικοσαετίας και αφού ληφθεί υπόψη και η μορφολογία του χώρου.



Εικόνα 6.2: Παράμετροι συστήματος συλλογής στραγγισμάτων [51]

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι τοποθέτησης των αγωγών μέσα στο χώρο οι οποίοι ωστόσο είναι λιγότερο συνηθισμένοι.



Εικόνα 6.3: Σχηματισμοί αγωγών συλλογής διασταλλαγμάτων [52]

Για τη διαστασιολόγηση του δικτύου θα πρέπει να υπολογιστεί η παροχή αιχμής που δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\max} = C \cdot I \cdot A \quad (\text{εξ.6.1})$$

όπου

C: αδιάστατος συντελεστής απορροής,

I : μέγιστο ύψος βροχόπτωσης,

A: επιφάνεια απορροής στραγγισμάτων.

Ο συντελεστής απορροής λαμβάνεται ίσος με την μονάδα για λόγους ασφαλείας.

Στη συνέχεια με χρήση της εξίσωσης του Manning υπολογίζεται η παροχεταιυτικότητα των στραγγισμάτων κάθε αγωγού

$$Q = \frac{C_m}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{εξ.6.2})$$

όπου

Q: παροχή στραγγισμάτων,

A: εμβαδόν διατομής της ροής,

R= A/P: υδραυλική ακτίνα,



P: βρεχόμενη περίμετρος,

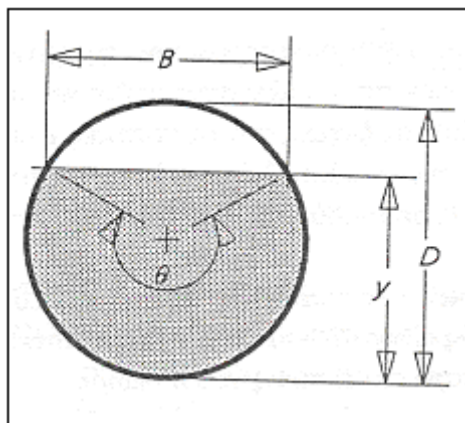
S: οι απώλειες ανά μονάδα βάρους και ανά μονάδα μήκους του ανοικτού αγωγού ή η κλίση του πυθμένα του αγωγού,

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning,

C<sub>m</sub>: μια εμπειρική σταθερά (L<sup>1/3</sup>/T) ίση με 1 σε μονάδες S.I.

Η τιμή του συντελεστή τραχύτητας κυμαίνεται συνήθως από 0,0009-0,012 για PVC και HDPE αγωγούς σε καλή κατάσταση. [53]

Για αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση ισχύουν τα εξής:



Εικόνα 6.4: Γεωμετρία ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση

Πίνακας 6.1: Σχέσεις χαρακτηριστικών ροής σε αγωγό κυκλικής διατομής με μερική πλήρωση

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση (y<D)
Γωνία, θ	$\theta=2\arccos(1-2y/D)$
Εμβαδόν υγρής διατομής, A	$A= (\theta-\sin\theta)D^2/8$
Βρεχόμενη περίμετρος, P	$P=\theta D/2$
Υδραυλική ακτίνα, R	$R=(1-\sin\theta/\theta)D/4$

Αν η ζώνη κάτω από τα ΑΣΑ είναι επίπεδη η ροή των στραγγισμάτων γίνεται σε επίπεδη ορθογωνική αποστραγγιστική ζώνη, η μόνωση είναι αδιαπέραστη, ενώ η κατείδυση q των στραγγισμάτων είναι ομοιόμορφη τότε το ύψος h μεταξύ των δύο αγωγών αποστράγγισης (Εικ.6.1) θα δίνεται από τη σχέση: [54]

$$h = \Omega^{1/2} [(L-x)x]^{1/2} \quad (\text{εξ.6.3})$$

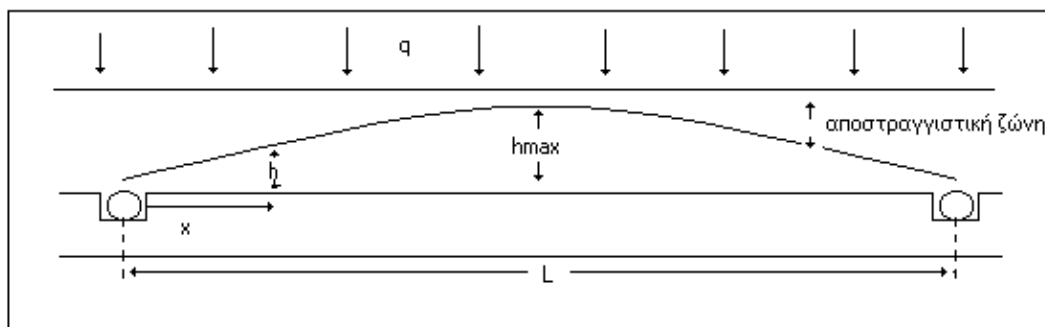
$$\text{όπου } \Omega = \frac{q}{K_w} \quad (\text{εξ.6.4})$$

L: η απόσταση μεταξύ των αγωγών [L]

x: η απόσταση από έναν από τους δυο αγωγούς[L]

$q$ : το τμήμα της διείσδυσης σταθερούς κατάστασης που συλλέγεται από τους αγωγούς [ $LT^{-1}$ ]

$K_w$ : η υδραυλική αγωγιμότητα του υλικού μεταξύ των δυο αγωγών [ $L T^{-1}$ ]



Εικόνα 6.5: 1<sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων

Στο μέσο της απόστασης των δυο αγωγών η παραπάνω εξίσωση γίνεται

$$h_{\max} = 0,5L\Omega^{1/2} \quad (\text{εξ.6.5})$$

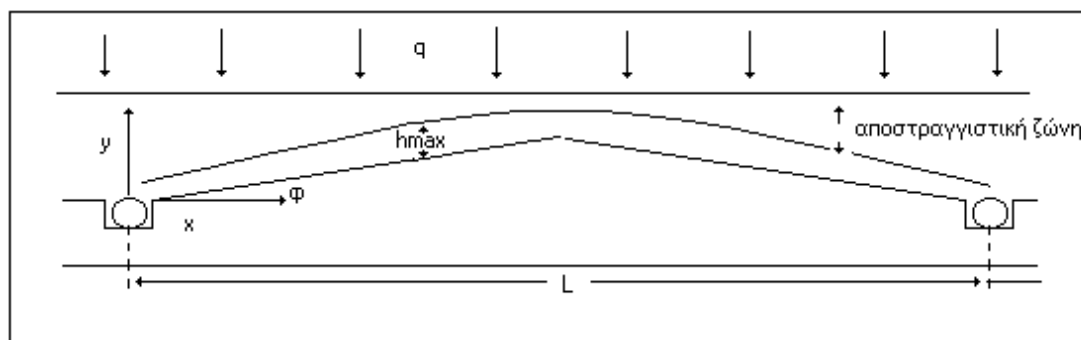
όπου  $h_{\max}$  είναι το μέγιστο ύψος της υδραυλικής στήλης πάνω από τον απορριμματικό όγκο. Βασιζόμενοι στους ποικίλους συνδυασμούς των  $h$  και  $x$  μπορεί να παραχθεί η επόμενη σχέση για το μέσο  $h$

$$\bar{h} = 0,785h_{\max} = 0,393L\Omega^{1/2} \quad (\text{εξ.6.6})$$

Χρησιμοποιώντας τις ίδιες υποθέσεις με πριν στην περίπτωση πτυχωτού συστήματος μόνωσης (Εικόνα 6.6) ώστε να διευκολύνονται τα διασταλλάγματα να οδηγούνται στους αγωγούς το  $h_{\max}$  θα δίνεται από τη σχέση:

$$h_{\max} = 0,5L\left[\left(\Omega + s^2\right)^{1/2} - s\right] \quad (\text{εξ.6.7})$$

όπου  $s = \tan\varphi$  και  $\varphi$ : η γωνία κλίσης της πτύχωσης



Εικόνα 6.6: 2<sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων

Στην περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε την απόσταση  $L$  μεταξύ των δυο αγωγών η πιο πάνω σχέση μετατρέπεται

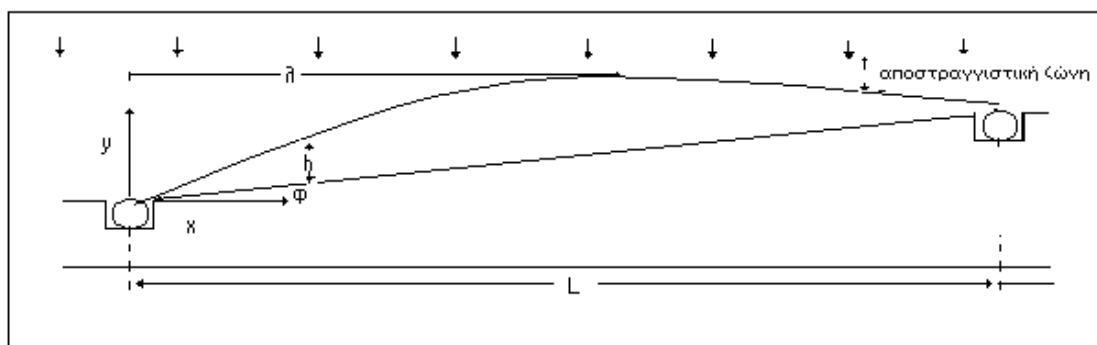
$$L = \frac{2(h_{\max} + s)}{(\Omega + s^2)^{1/2}} \quad (\text{εξ.6.8})$$

Στην εικόνα 6.7 παρουσιάζεται ένα άλλο είδους πτυχωτό σύστημα το οποίο είναι αρκετά πιο περίπλοκο και δεν είναι δυνατόν να γραφούν απλές και σαφείς εξισώσεις που να δίνουν το ύψος  $h$ . Ωστόσο, υποθέτοντας μηδενική πίεση μετώπου στους αγωγούς αποστράγγισης το ύψος  $h$  και η απόσταση στην οποία αυτό συμβαίνει μπορεί να δοθεί από τη σχέση  $x = \lambda(1 - A \exp B)$

όπου

$$A = \frac{\Omega^{1/2}}{\left( \frac{h^2}{(\lambda - x)^2} - \frac{sh}{(\lambda - x)} + \Omega \right)^{1/2}} \quad \text{και}$$

$$B = \frac{s}{(4\Omega + s^2)^{1/2}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{-s}{(4\Omega + s^2)^{1/2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{\frac{2h}{(\lambda - x)} - s}{(4\Omega + s^2)^{1/2}} \right) \right] \quad (\text{εξ.6.9})$$



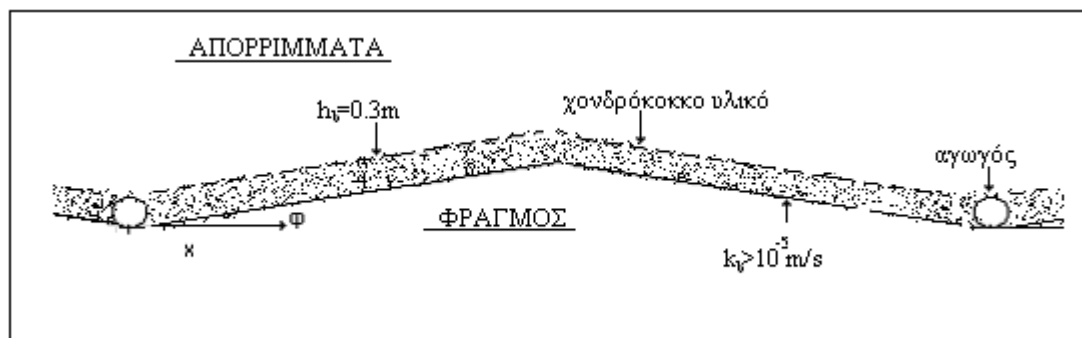
Εικόνα 6.7: 3<sup>ος</sup> τύπος συστήματος συλλογής στραγγισμάτων

Συνηθέστερος τρόπος για τη συλλογή των στραγγισμάτων θεωρείται ο δεύτερος. Όταν χρησιμοποιείται στην αποστραγγιστική ζώνη υλικό υδραυλικής διαπερατότητας από  $10^{-4} \text{m/s}$  -  $10^{-5} \text{m/s}$  και απόσταση μεταξύ των αγωγών περί τα 30m τότε με μικρές κλίσεις είναι δυνατόν το μέγιστο πιεζομετρικό ύψος των στραγγισμάτων να είναι μικρότερο από 30cm. Με κλίση 2% η απόσταση μεταξύ των αγωγών μπορεί να αυξηθεί στα 60m και να διατηρεί το μέγιστο πιεζομετρικό ύψος χαμηλότερο από τα 0,3m.

### 6.3 ΦΡΑΞΙΜΟ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Στην πράξη το στρώμα της αποστράγγισης που βρίσκεται κάτω από τα απορρίμματα παρουσιάζει μια τάση να φράζει. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο συνδυασμό συσσώρευσης σωματιδίων αλλά και χημικής κατακρήμνισης. [44]

Το φράξιμο αυτό δεν καθιστά βέβαια το στρώμα αποστράγγισης αδιαπέραστο ωστόσο αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν η υδραυλική αγωγιμότητα γίνεται ίση ή και χαμηλότερη από αυτή των απορριμμάτων που υπέρκεινται.



Εικόνα 6.8: Συσσώρευση στραγγισμάτων

## 6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 6.4.1 Περίπτωση 1. ΧΥΤΑ

Η παροχή αιχμής σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν θα είναι:

$$Q_{\max} = C \cdot I \cdot A$$

όπου I το μέγιστο ωριαίο ύψος βροχόπτωσης στα Χανιά σύμφωνα με την [54] και ισούται με 22mm/hr=0,022m/hr συνεπώς:

$$Q_{\max} = 1 \cdot 0,022 \text{m/hr} \cdot 35000 \text{m}^2 = 770 \text{m}^3/\text{hr} = 0,214 \text{m}^3/\text{sec}$$

Υπολογισμός παροχεταιυκότητας στραγγισμάτων

Από την εξίσωση Manning:

$$Q = \frac{C_m}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Για πλήρωση αγωγού ίση με  $y/D=2/3$

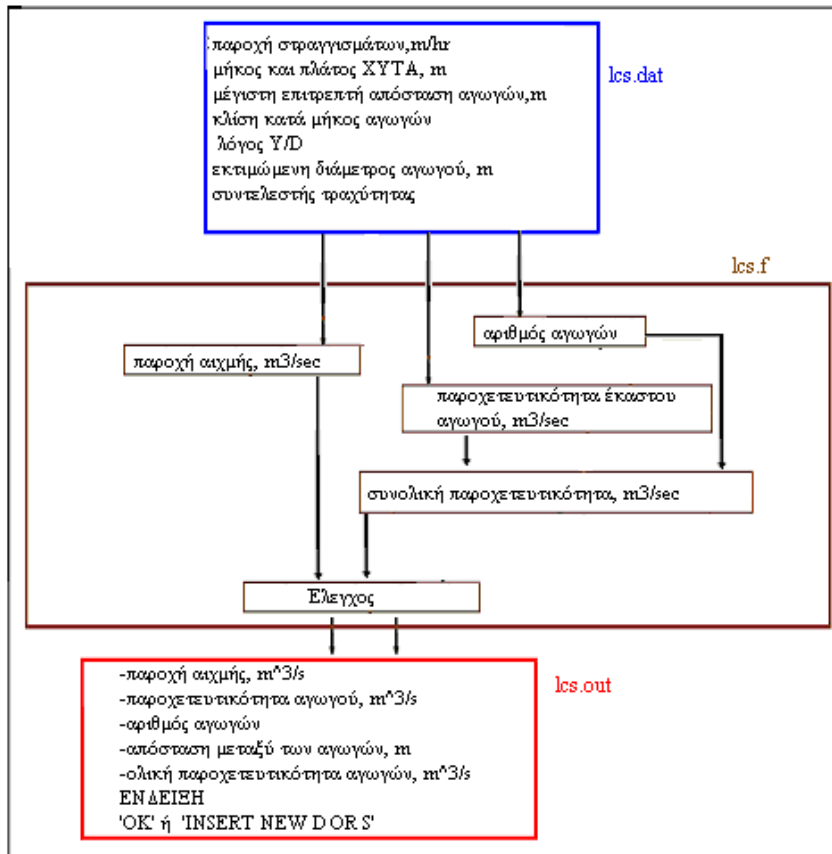
- $\theta = 2 \arccos(1-4/3) = 3,8$
- $A = (3,8 - \sin 3,8) \cdot 0,200^2/8 = 0,022 \text{m}^2$   $P = (3,8 \cdot 0,200)/2 = 0,38 \text{m}$  και
- $R = (1 - \sin 3,8/3,8) \cdot 0,200/4 = 0,058$

Έτσι σύμφωνα με την προηγούμενη εξίσωση για  $n = 0,013$

$$Q = \frac{1}{0,013} \cdot 0,022 \cdot 0,058^{2/3} \cdot 0,05^{1/2} = 0,057 \text{m}^3/\text{sec}$$

Συνεπώς ο κάθε αγωγός μπορεί να παροχετεύσει με ασφάλεια  $0,057 \text{m}^3/\text{sec}$  ενώ αν χρησιμοποιηθούν 4 συνολικά αγωγοί τότε θα παροχετεύουν συνολικά  $4 \cdot 0,057 = 0,228 \text{m}^3/\text{sec} >$  από την παροχή αιχμής ( $0,214 \text{m}^3/\text{sec}$ ).

Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο αρχείο εξόδου lcs.out του προγράμματος.



Εικόνα 6.9: Δομή προγράμματος για τη διαστασιολόγηση των αγωγών

Τα στοιχεία εισόδου στο πρόγραμμα είναι η παροχή των στραγγισμάτων (m/hr), το μήκος και το πλάτος του ΧΥΤΑ (m), μέγιστη επιτρεπτή απόσταση των αγωγών(m), η κλίση, κατά μήκος των αγωγών, ο λόγος Y/D, η εκτιμώμενη διάμετρος του αγωγού αποστράγγισης (m), και ο συντελεστής τραχύτητας.

lcs.dat

0.022  
200  
175  
40  
0.05  
0.66  
0.2  
0.013

Το αρχείο εξόδου θα έχει την μορφή:

```

*****
PIPE SUPPLY, M^3/S
*****
0.057
*****
PEAK SUPPLY, M^3/S
    
```

```

*****
0.214
*****
NUMBER OF PIPES
*****
4.000
*****
DISTANCE BETWEEN PIPES,M
*****
35.000
*****
TOTAL SUPPLY M^3/S
*****
0.227

*****
OK
*****

```

Στην περίπτωση που η διάμετρος και η κλίση των αγωγών είναι τέτοια ώστε η παροχетеυτικότητα των αγωγών να είναι μεγαλύτερη από την παροχή αιχμής τότε στο αρχείο εξόδου εμφανίζεται η ένδειξη ‘OK’ διαφορετικά στην περίπτωση π.χ. που η διάμετρος έκαστου αγωγού είναι 180mm (για την ίδια κλίση) τότε η ολική παροχетеυτικότητα (0,171m<sup>3</sup>/s ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι) είναι μικρότερη από την παροχή αιχμής εμφανίζεται η ένδειξη

```

*****
INSERT NEW D OR S
*****

```

ώστε να επαναληφθεί η διαδικασία με μεγαλύτερη διάμετρο αγωγού ή κλίση του πυθμένα.

Οι δυο περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, για τη συλλογή των στραγγισμάτων, οι οποίες και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην κατασκευή ΧΥΤΑ έχουν περαστεί σε κώδικα FORTRAN.

Ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα στραγγίσματα που εξέρχονται από τα ΑΣΑ και οδηγούνται στην αποστραγγιστική ζώνη (m/yr), η απόσταση που έχουν τοποθετηθεί οι αγωγοί (m), η κλίση S και η υδραυλική αγωγιμότητα K<sub>s</sub>(m/s).

Στην περίπτωση που θεωρηθεί η ποσότητα των στραγγισμάτων η μέγιστη δηλαδή αυτή που προκύπτει σύμφωνα με την προηγούμενη εφαρμογή κατά το τελευταίο έτος 0,46m/yr, η απόσταση μεταξύ των αγωγών ίση με 30m, η κλίση 1% και αρχική υδραυλική αγωγιμότητα 10<sup>-3</sup>m/s. Το αρχείο collect.dat:

```

0.46
30
0.01
0.001

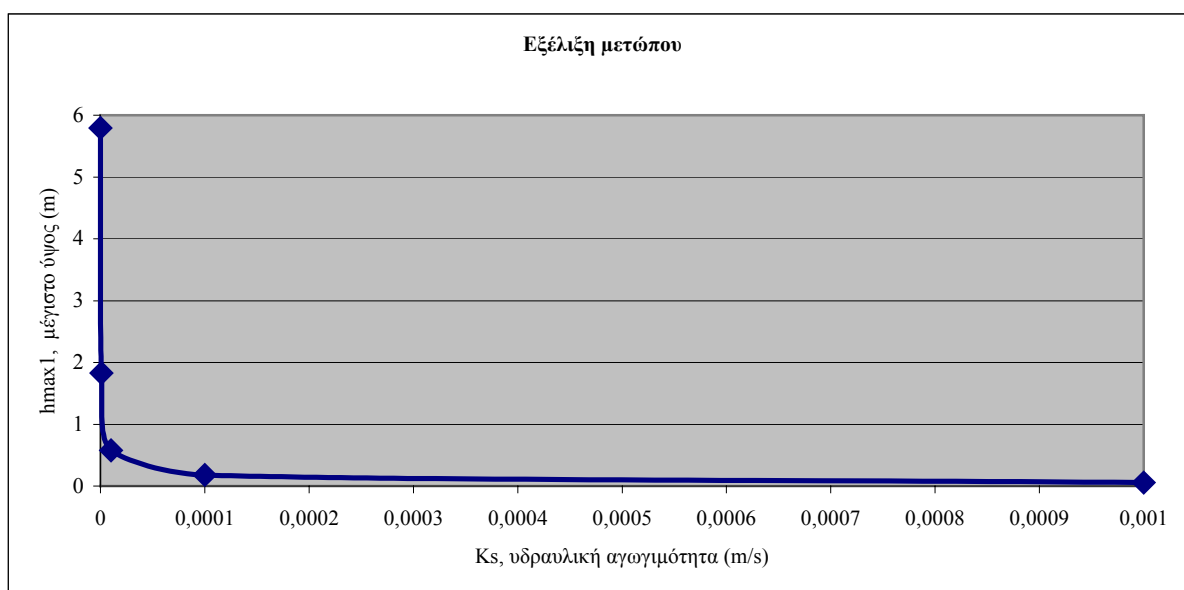
```

Το αρχείο εξόδου στην περίπτωση που θεωρηθεί ως  $H_{max1}$  το μέγιστο ύψος της στήλης των υγρών αποβλήτων κατά τον 1<sup>ο</sup> τύπο συλλογής στραγγισμάτων και  $H_{max2}$  το μέγιστο ύψος της στήλης των υγρών αποβλήτων κατά τον 2<sup>ο</sup> τύπο συλλογής στραγγισμάτων, υπολογίζει τα  $H_{max1}$ ,  $H_{max2}$  μειώνοντας σταδιακά και το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας κατά  $10^{-1}$ . Το αρχείο collect.out:

```
*****
LEACHATE COLLECTION SYSTEM
*****

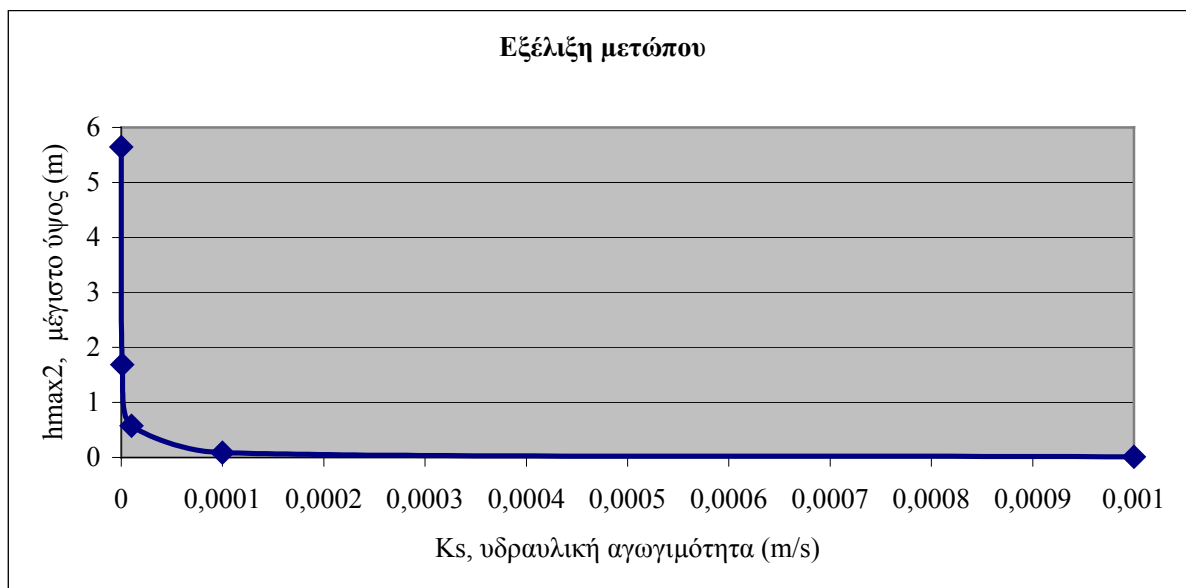
HMAX1 (M)
0.058
0.183
0.579
1.831
5.791
HMAX2 (M)
0.011
0.087
0.448
1.687
5.643
```

Η γραφική παράσταση που προκύπτει όσον αφορά το  $H_{max1}$  με την υδραυλική αγωγιμότητα παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Εικόνα 6.10: Μέγιστο ύψος στραγγισμάτων συναρτήσει υδραυλικής αγωγιμότητας

Αντίστοιχα και η γραφική παράσταση που προκύπτει όσον αφορά το  $H_{max2}$  με την υδραυλική αγωγιμότητα παρουσιάζεται



Εικόνα 6.11: Μέγιστο ύψος στραγγισμάτων συναρτήσει υδραυλικής αγωγιμότητας

Για παράδειγμα θεωρείται σύστημα συλλογής στραγγισμάτων όπως αυτό του παραπάνω σχήματος όπου το πάχος της ζώνης αποστράγγισης είναι 0,3m και υπέρκειται στρώματος συμπιεσμένης αργίλου.

Εξετάστηκαν επίσης οι περιπτώσεις αλλαγής της απόστασης και της κλίσης και κατασκευάστηκε ο επόμενος πίνακας συνολικά.

Πίνακας 6.2: Συγκριτικός πίνακας μεταβολής του  $H_{max}$  συναρτήσει της απόστασης των αγωγών, της υδραυλικής αγωγιμότητας και της κλίσης

Απόσταση αγωγών	Υδραυλική αγωγιμότητα (m/s)	$H_{max1}$	κλίση	$H_{max2}$	κλίση	$H_{max2}$	κλίση	$H_{max2}$
20m	$10^{-3}$	0,039	1%	0,007	1,5%	0,005	2%	0,004
	$10^{-4}$	0,122	1%	0,058	1,5%	0,043	2%	0,034
	$10^{-5}$	0,386	1%	0,299	1,5%	0,264	2%	0,235
	$10^{-6}$	1,221	1%	1,125	1,5%	1,080	2%	1,037
	$10^{-7}$	3,861	1%	3,762	1,5%	3,713	2%	3,666
30m	$10^{-3}$	0,058	1%	0,011	1,5%	0,007	2%	0,006
	$10^{-4}$	0,183	1%	0,087	1,5%	0,065	2%	0,051
	$10^{-5}$	0,579	1%	0,448	1,5%	0,396	2%	0,352
	$10^{-6}$	1,831	1%	1,687	1,5%	1,620	2%	1,556
	$10^{-7}$	5,791	1%	5,643	1,5%	5,570	2%	5,499
40m	$10^{-3}$	0,077	1%	0,014	1,5%	0,010	2%	0,007
	$10^{-4}$	0,244	1%	0,116	1,5%	0,087	2%	0,069



	$10^{-5}$	0,772	1%	0,598	1,5%	0,528	2%	0,470
	$10^{-6}$	2,442	1%	2,250	1,5%	2,160	2%	2,074
	$10^{-7}$	7,721	1%	7,524	1,5%	7,427	2%	7,331

### Μέσο Φράξιμο

Η ζώνη αποστράγγισης μπορεί να θεωρηθεί ότι φράσσεται όταν η υδραυλική αγωγιμότητα αυτής λάβει τιμή παρόμοια με αυτή των απορριμμάτων. Όταν αυτό συμβεί η μετακίνηση των στραγγισμάτων προς την αποστραγγιστική ζώνη δεν είναι η προτιμητέα, αν και ένα σημαντικό τμήμα των στραγγισμάτων κινείται προς αυτήν.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, φαίνεται πως το πρόβλημα γίνεται εμφανές όταν  $k_w=k_s=10^{-5}$  m/s (σύμφωνα με τη [35] η υδραυλική αγωγιμότητα των ΑΣΑ)

Πίνακας 6.3: Πίνακας μεταβολής του  $H_{max}$  όταν η υδραυλική αγωγιμότητα της αποστραγγιστικής ζώνης γίνει ίση με αυτή των ΑΣΑ

Απόσταση αγωγών	Υδραυλική αγωγιμότητα ΑΣΑ (m/s)	$H_{max1}$	κλίση	$H_{max2}$	κλίση	$H_{max2}$	κλίση	$H_{max2}$
20m	$10^{-5}$	0,386	1%	0,299	1,5%	0,264	2%	0,235
30m	$10^{-5}$	0,579	1%	0,448	1,5%	0,396	2%	0,352
40m	$10^{-5}$	0,772	1%	0,598	1,5%	0,528	2%	0,470

Το πρόβλημα όπως φαίνεται και από τον πίνακα γίνεται τόσο εντονότερο όσο μικρότερη είναι η κλίση και όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των αγωγών.

### Σημαντικό φράξιμο [54]

Το σημαντικό φράξιμο λαμβάνει χώρα όταν η υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης αποστράγγισης γίνει κατά μια τάξη μεγέθους χαμηλότερη από αυτή των ΑΣΑ. Όταν συμβεί αυτό η οριζόντια κίνηση των στραγγισμάτων θα γίνεται μέσα στον απορριμματικό όγκο. Για παράδειγμα, αν η υδραυλική αγωγιμότητα της αποστραγγιστικής ζώνης είναι  $k_s=10^{-7}$  m/s τότε η ζώνη αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν φραγμός και συσσώρευση των στραγγισμάτων θα συμβεί πάνω από αυτή. Σαν λογική προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί πως το  $h_{max}$  στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται από το άθροισμα του πάχους της ζώνης (0,3m) και του ύψους των στραγγισμάτων στα απορρίματα ( $k_w=10^{-6}$  m/s).

$$h_{max} = h_b + 0,5L \left[ \left( \frac{q_o}{K_s = K_w} + s^2 \right)^{1/2} - s \right] \quad (\text{εξ.6.10})$$

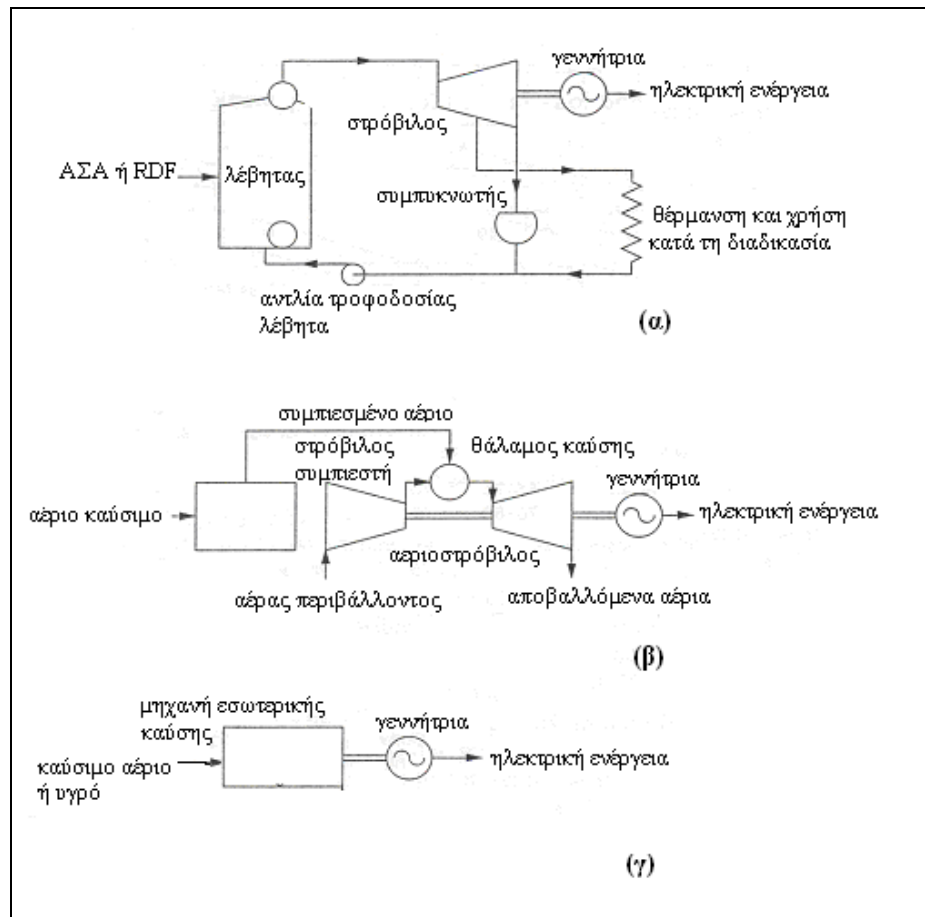
Αποφυγή του φραξίματος μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας την ταχύτητα ροής των στραγγισμάτων μέσα στην αποστραγγιστική ζώνη έτσι ώστε να μην υπάρχει χρόνος για συσσωμάτωση σωματιδίων και χημική κατακρήμνιση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας την κλίση και την υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΣΑ**

#### **7.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ**

Τα κύρια στοιχεία για την ενεργειακή ανάκτηση αποτελούν οι λέβητες για την παραγωγή ατμού ατμοστρόβιλοι, οι αεριοστρόβιλοι, και παλινδρομικές μηχανές, καθώς επίσης και ηλεκτρικές γεννήτριες για τη μετατροπή της μηχανική ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ατμοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα συστήματα (10-50MW), ενώ οι αεριοστρόβιλοι αερίου και οι παλινδρομικές μηχανές χρησιμοποιούνται σε μικρότερα. Τυπικά διαγράμματα ροής για την ανάκτηση ενέργειας απ' ευθείας από ΑΣΑ ή δευτερευόντως από αυτά με την μορφή βιοαερίου παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Επιπλέον, στον πίνακα 7.1 φαίνονται τυπικές τιμές απόδοσης συστημάτων θερμικής επεξεργασίας.



Εικόνα 7.1: Διαγράμματα ροής για ανάκτηση ενέργειας [11]

Πίνακας 7.1: Τυπικές τιμές απόδοσης συστημάτων θερμικής επεξεργασίας [11]

Στοιχείο	Απόδοση	
	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Κλίβανος - λέβητας	40-68	63
Λέβητας	60-75	72
Αντιδραστήρας Πυρόλυσης		
-Συμβατικός	65-75	70
Αντιδραστήρας Αεριοποίησης		
-Θερμό αέριο	70-80	75
-Ψυχρό αέριο	60-70	65
Στρόβιλος		
Combustion gas		
-Απλός κύκλος	8-12	10
-Αναγεννητικός	20-26	24

κύκλος		
Expansion gas	30-50	40
Ατμοστρόβιλος- γεννήτρια		
<12,5MW	24-30	29
>25MW	28-32	31,6
Γεννήτρια ηλεκτρισμού		
<10MW	88-92	90
>10MW	94-98	96

## 7.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΧΥΤΑ

Στην καλύτερη περίπτωση η παραγωγή μεθανίου, σε ένα ΧΥΤΑ, είναι περίπου 75-95L/kg ΑΣΑ. Παράλληλα, είναι σημαντικό να τονιστεί πως η δυνητική αυτή ποσότητα του μεθανίου δεν είναι δυνατόν να συλλεχθεί λόγω

- της ανεπάρκειας στη συλλογή του μέσω των κάθετων φρεατίων,
- των μεγάλων εκπομπών αυτού κατά την πλήρωση του κυττάρου και προτού τοποθετηθεί το σύστημα συλλογής του βιοαερίου και
- της δυσκολίας συλλογής μακροπρόθεσμων χαμηλών εκπομπών που είναι δυνατόν να εξακολουθούν για αρκετά χρόνια μετά την παύση λειτουργίας του χώρου. [55]

Μια προσέγγιση που βρίσκεται υπό ανάπτυξη για δεκαετίες για την βελτιστοποίηση της συλλογής του παραγόμενου μεθανίου αλλά και ενεργειακή ανάκτηση είναι αυτή ενός ΧΥΤΑ που θα συμπεριφέρεται σαν 'βιοαντιδραστήρας'. Τα βασικά στοιχεία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό είναι:

- το ορθά κατασκευασμένο σύστημα συλλογής των στραγγισμάτων,
- η χρήση υλικού καθημερινής κάλυψης διαπερατών μόνο από υγρά όπως ροκανίδια ξύλου ή θρύμματα λάστιχου γρήγορη πλήρωση και παράλληλα συλλογή βιοαερίου,
- η κάλυψη του κυττάρου με γεωμεμβράνη πολυαιθυλενίου ώστε να επιτυγχάνεται εγκλωβισμός βιοαερίου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%,
- η αύξηση του ρυθμού παραγωγής μεθανίου με ελεγχόμενη προσθήκη υγρών (υγρασία ΑΣΑ περίπου 40%) και
- η εφαρμογή κενού του συστήματος συλλογής στο διαπερατό στρώμα ώστε να αντλείται το βιοαέριο που παράγεται.

Από την βιβλιογραφία, μια τυπική τιμή της ενέργεια του βιοαερίου είναι περίπου

18,8MJ/m<sup>3</sup>. Η τιμή αυτή ποικίλει ανάλογα με το ποσοστό του μεθανίου στο βιοαέριο.

Πίνακας 7.2: Ενέργεια που αποδίδει κάθε τύπος καυσίμου

Τύπος καυσίμου	Ενέργεια
Βιομάζα	8,4MJ/kg
Φυσικό αέριο	51,9MJ/kg
Πετρέλαιο θέρμανσης	41,4 MJ/kg

Από τη στιγμή που το βιοαέριο φτάνει σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται 13.650kJ για την παραγωγή 1kW ενέργειας. [56]

### 7.2.1. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαερίου

Οι μέθοδοι επεξεργασίας του συλλεγόμενου βιοαερίου είναι :

- επεξεργασία για θέρμανση :

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε καυστήρες, παράγοντας έτσι ατμό. Καθώς όμως είναι βεβαρημένο με ίχνη ουσιών, πρέπει να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να απομακρυνθούν οι βλαβερές ουσίες. Αυτή η επεξεργασία κρίνεται απαραίτητη γιατί η οξείδωση αυτών των ουσιών στην εστία καύσης μπορεί να δημιουργήσει αέρια τα οποία θα διαβρώσουν την εγκατάσταση.

Οι ουσίες αυτές μπορούν, ωστόσο, να απομακρυνθούν είτε με φίλτρα, είτε με πλήρη συστήματα καθαρισμού.

- επεξεργασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας :

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο συνήθως ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία :

Η συνολική παροχή του βιοαερίου περνά από φίλτρο όπου απομακρύνεται το υδρόθειο. Στη συνέχεια, το αέριο διέρχεται μέσα από ένα κυκλώνα, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που περιέχει και να οδηγηθεί με ασφάλεια στη μηχανή εσωτερικής καύσης. Η υπόλοιπη ποσότητα του βιοαερίου οδηγείται για καύση στο δαυλό. Επειδή η πίεση του αερίου στην είσοδο πρέπει να είναι σταθερή, συνήθως υπάρχει ένας εφεδρικός φυγοκεντρικός ανεμιστήρας. Το καύσιμο ελέγχεται ηλεκτρονικά, ως προς τη σύνθεσή του και στη συνέχεια αναμειγνύεται με τον αέρα καύσης. Η μίξη με τον αέρα γίνεται μέσω ακροφυσίων ενώ η ανάφλεξη γίνεται ηλεκτρονικά.

- Συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας :

Στην περίπτωση αυτή γίνεται ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια ποσότητα καυσίμου με σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από την ανεξάρτητη παραγωγή καθεμιάς από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας. Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της συγκεκριμένης εφαρμογής σημαίνει

κατανάλωση μικρότερης ποσότητας καυσίμων για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας με προφανή οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη .

- Χρήση του βιοαερίου σε συμπιεστές ΑΣΑ:

Μετά από επεξεργασία μπορεί το μεθάνιο να φθάσει σε βαθμό καθαρότητας 95-98 % και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη στους συμπιεστές των απορριμμάτων. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαία τρία συστήματα:

- α ) εγκατάσταση καθαρισμού και συμπιεστής υψηλής πίεσης,
- β ) αποθήκευση του καυσίμου,
- γ) ειδικά σχεδιασμένος κινητήρας του συμπιεστή, ο οποίος θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τόσο βιοαέριο όσο και πετρέλαιο. Ο συμπιεστής είναι δυνατόν να λειτουργήσει τόσο με πετρέλαιο, όσο και με μεθάνιο και πετρέλαιο.

Οι κατευθυντήριες γραμμές για τη διαχείριση του βιοαερίου από ΧΥΤΑ είναι: [29]

- η ποσότητα των ΑΣΑ που έχουν ταφεί να είναι μεγαλύτερη από  $1 \cdot 10^6 \text{tn}$ ,
- το βάθος του κυττάρου να είναι μεγαλύτερο από 11m,
- η έκταση του χώρου απόθεσης μεγαλύτερη από  $0,15 \text{km}^2$ ,
- η ημερήσια παραγωγή του βιοαερίου μεγαλύτερη από  $28 \cdot 10^3 \text{m}^3$ ,
- το ποσό του μεθανίου τουλάχιστον 35% κ.ο. και
- το κλίμα να βοηθά την παραγωγή του βιοαερίου,

## 7.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ

### 7.3.1 Refuse Derived Fuel (RDF)

Στην περίπτωση που τα ΑΣΑ μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια με την μορφή ατμού από την καύση, ή χημική ενέργεια με την μορφή αερίων ή υγρών από την πυρόλυση ή την αεριοποίηση, μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τις βιομηχανικές διαδικασίες ή τη θέρμανση κτιρίων. Ενώ επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή μηχανικής ή ηλεκτρικής ενέργειας με έναν ατμοστρόβιλο.

Ένα από τα βασικά προϊόντα ανάκτησης των μονάδων μηχανικής διαλογής είναι το RDF. [7]

Για την ανάπτυξη ενός συστήματος παραγωγής RDF απαιτούνται τα εξής:

- ανάλυση της σύνθεσης των απορριμμάτων και της αγοράς για την ενεργειακή αξιοποίηση του RDF,
- ανάλυση της δυνατότητας συλλογής και μεταφοράς,
- επιλογή μεθοδολογίας παραγωγής,
- λεπτομερής χαρακτηρισμός των ομάδων υλικών (χαρτί, πλαστικό κ.λπ.),
- επιλογή κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού για κάθε διαδικασία (π.χ τεμαχισμός) και

- ανάπτυξη πλήρους διαδικασίας με τα λεπτομερή στοιχεία (π.χ μέγεθος τεμαχίων).

Συνήθως, το RDF αποτελείται κατά 65 - 85% κ.β. από χαρτί και χαρτόνι, 10 - 13% από πλαστικό και 4 - 13% από διάφορα αδρανή υλικά. Η ποιότητά του εξαρτάται από την περιεκτικότητα του χαρτιού και πλαστικού στα απόβλητα. Η θερμογόνος τιμή είναι διπλάσια των ΑΣΑ και κυμαίνεται από 12 - 20MJ/Kg.

Σημαντικά κριτήρια για τη χρήση του RDF είναι τα εξής [7]:

- αρκετά υψηλή και ομοιόμορφη θερμογόνος τιμή,
- χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό,
- χαμηλή περιεκτικότητα σε αδρανή υλικά, άρα χαμηλή περιεκτικότητα σε στάχτη,
- όσο το δυνατόν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε βλαβερές ουσίες,
- ομογενοποιημένη σύνθεση, κατά το δυνατό σταθερό μέγεθος και κατανομή τεμαχίων,
- ικανότητα αποθήκευσης του για αρκετούς μήνες χωρίς βιολογική αποδόμηση και αλλαγή της δομής του,
- καλή ικανότητα μεταφοράς και
- δυνατότητα καύσης του σε υπάρχοντα συστήματα καύσης.

### 7.3.2 Πυρόλυση

Αποτελεί μέθοδο ανάκτησης ενέργειας με την παραγωγή αερίου καυσίμου, κατά την οποία λαμβάνει χώρα φυσική και χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα ΑΣΑ υπό την επίδραση θερμότητας σε περιβάλλον απουσία αέρα ή οξυγόνου. Πρόκειται για διαδικασία η οποία παρέχει τη δυνατότητα για παρασκευή πολλών καυσίμων από μια ποικιλία πρώτων υλών .

Κατά την πυρόλυση διασπώνται χημικοί δεσμοί και λαμβάνονται προϊόντα υψηλού ενεργειακού περιεχομένου, τα οποία ανάλογα με τις συνθήκες, μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσα σε ειδικό κλίβανο υπό πίεση, λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική σε θερμοκρασία 500 °C, έως 700 °C, οπότε παράγεται κυρίως αέριο και κάρβουνο. Η τροφοδοσία του κλιβάνου, ανάλογα με τον τύπο του, μπορεί να γίνεται είτε με ακατέργαστα ΑΣΑ, είτε με κατεργασμένα σε μορφή μικρών τεμαχίων. [57]

Η ενέργεια (θερμότητα) που απαιτείται για την επίτευξη της πυρόλυσης, συνήθως αντλείται από την καύση ενός μέρους (1:5) των παραγόμενων αερίων καυσίμων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η περιεκτικότητα σε νερό της πρώτης ύλης πρέπει να είναι μικρότερη από 40%, διαφορετικά δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος. Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης οι περισσότερες από τις θερμικά ασταθείς οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε χρήσιμα καύσιμα αέρια ( H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) των οποίων η θερμογόνος δύναμη εξαρτάται από το είδος



του πυρολυτικού αντιδραστήρα, όπου γίνεται η αντίδραση χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας και από τη σύσταση των ΑΣΑ.

Παράλληλα, προκύπτει ένα κλάσμα που αποτελείται από πίσσα και διάφορα ελαιώδη προϊόντα, που υπό κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι σε υγρή κατάσταση και περιέχει χημικές ενώσεις όπως οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη, ακεταλδεΐδη κλπ.

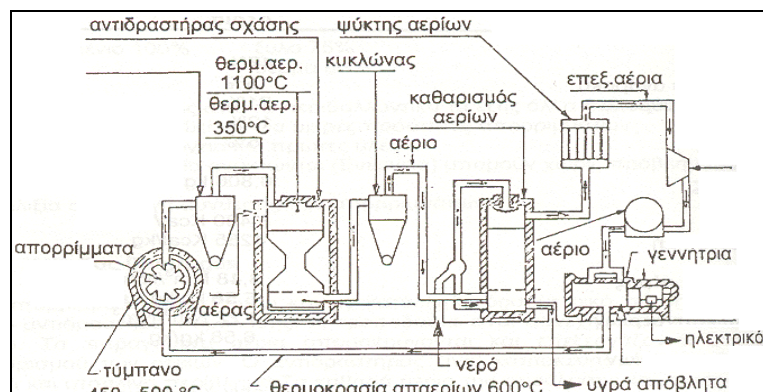
Τέλος, προκύπτει ένα στερεό υπόλειμμα που περιέχει στερεό άνθρακα και μερικά άλλα αδρανή υλικά, με πολύ μικρή θερμογόνο δύναμη που στην ουσία το καθιστούν άχρηστο ως καύσιμο.

Οι χημικές αντιδράσεις της πυρόλυσης είναι ενδόθερμες και η ενέργεια που παράγεται είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για την πυρόλυση θερμότητα. Από το παραγόμενο λοιπόν αέριο, ένα μέρος χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες της εγκατάστασης σε ενέργεια και το υπόλοιπο μπορεί να καεί επί τόπου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια αεριοστροβίλου ή και να οδηγηθεί προς πώληση. [58]

Μια απλή μονάδα πυρόλυσης αποτελείται από:

1. την υποδοχή ,
2. τον τεμαχισμό,
3. την πυρόλυση,
4. τη ψύξη και το διαχωρισμό του υπολείμματος,
5. την παραγωγή ατμού και
6. τον καθαρισμό των αερίων.

Η τροφοδοσία είναι συνεχής σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο και τα εξερχόμενα αέρια διέρχονται πάνω από τα εισερχόμενα ΑΣΑ για να υποβοηθηθεί η πυρόλυση. Τα εξερχόμενα αέρια περνάνε σε άλλη μονάδα καύσης όπου αναμειγνύονται με τον αέρα και καίγονται. Η θερμοκρασία σε αυτή τη φάση είναι πολύ υψηλή (1000°C). Στη συνέχεια, περνούν από ένα εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή ατμού. Τα αέρια πριν διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα πρέπει να καθαριστούν αλλά η διαδικασία είναι απλούστερη από ότι στην περίπτωση της καύσης, διότι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πολύ λιγότερα.



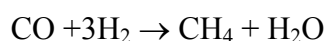
Εικόνα 7.2: Πυρόλυση με την μέθοδο Kiener [7]

### 7.3.3 Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία που συνδυάζει το μετασχηματισμό πολύπλοκων οργανικών μορίων, σε υγρή ή στερεή κατάσταση, και άνθρακα σε απλά αέρια. Κατά την αεριοποίηση τα προς επεξεργασία ΑΣΑ θερμαίνονται παρουσία περιορισμένης ποσότητας οξυγόνου, για τη μέγιστη απελευθέρωση CO και H<sub>2</sub>. Το μείγμα CO και H<sub>2</sub> είναι γνωστό σαν αέριο σύνθεσης (Synthesis Gas). [58]

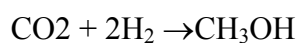
Η αεριοποίηση μπορεί να γίνει με O<sub>2</sub> ή αέρα. Στη δεύτερη περίπτωση το τελικό αέριο περιέχει περίπου 40% N<sub>2</sub>, γεγονός που μειώνει τη θερμαντική αξία του αερίου από 13 MJ/m<sup>3</sup> σε 7MJ/m<sup>3</sup>. Επίσης, επειδή επιδιώκεται μετατροπή του αερίου σε κάποιο πιο χρήσιμο προϊόν, και συγκεκριμένα μεθανόλη, ή αμμωνία, υπό υψηλή πίεση, καλό είναι να αποφεύγεται η παρουσία του N<sub>2</sub>, που είναι αδρανές.

Για τη μετατροπή του SNG γίνονται οι αντιδράσεις :



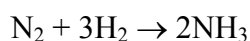
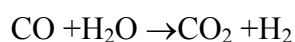
Η πρώτη αντίδραση είναι απαραίτητη για την αύξηση του H<sub>2</sub> στο μίγμα, στην αναλογία περίπου 1CO:3H<sub>2</sub>. Η δεύτερη είναι ισχυρά εξώθερμη αντίδραση γι' αυτό πρέπει να απάγεται θερμότητα, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται γύρω στους 400°C.

Η μετατροπή σε μεθανόλη γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση :



Η αντίδραση αυτή, όπως και οι προηγούμενες, γίνεται παρουσία κατάλληλων καταλυτών. Το τελικό προϊόν περιέχει σαν πρόσμιξη αιθανόλη, νερό και ανώτερες αλκοόλες, αλλά η περιεκτικότητα σε μεθανόλη είναι περίπου 98%.

Για τη μετατροπή σε αμμωνία απαιτείται απομάκρυνση όλου του CO, το οποίο μετατρέπεται, κατά το μεγαλύτερο μέρος, σε CO<sub>2</sub>:

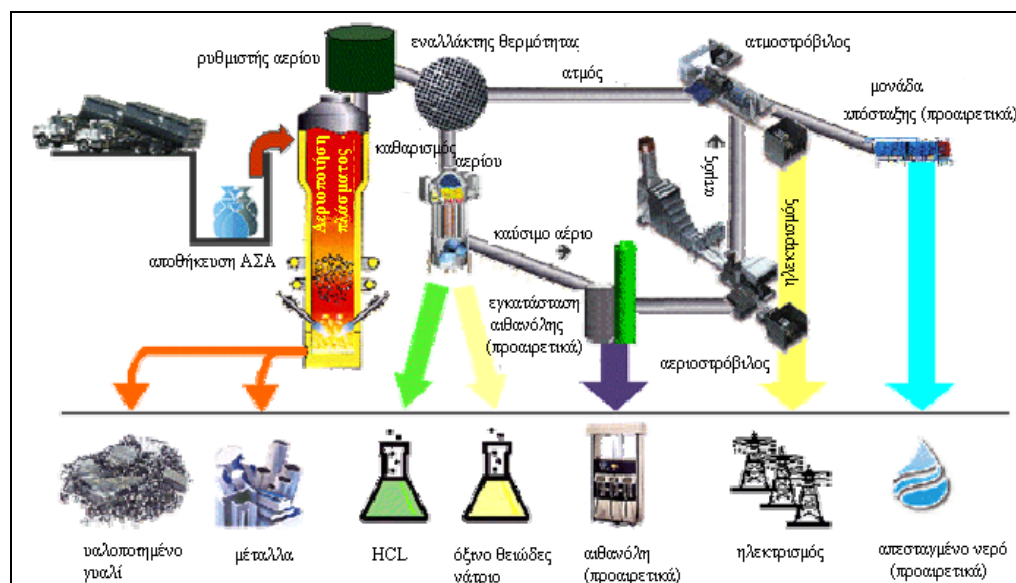


### 7.3.4 Αεριοποίηση με τη μέθοδο πλάσματος

Η αεριοποίηση πλάσματος αποτελεί την πιο σύγχρονη τεχνολογία επεξεργασίας απορριμμάτων.

Πλάσμα ονομάζεται το αέριο που έχει ιονιστεί. Τα αέρια ιονίζονται όταν θερμανθούν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (>5.000°C). Το πλάσμα δημιουργείται κατά την ηλεκτρική εκκένωση ενός αερίου. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, τα αέρια δεν είναι αγωγιμα. Ωστόσο, αν εφαρμοστεί υψηλή τάση, τα αέρια χάνουν τις μονωτικές τους ιδιότητες και καθώς ο ηλεκτρισμός ρέει μέσα από αυτά, θερμαίνονται και άγουν ολόένα και περισσότερο.

Τα ΑΣΑ εγχέονται στο επάνω μέρος του θερμικού μετασηματιστή (αεριοποιητής πλάσματος) και συσσωρεύεται στο σώμα του αντιδραστήρα. Το πλάσμα βρίσκεται στον πάτο του αντιδραστήρα και παράγει φλόγα μεταξύ 2.800-4.500 °C.



Εικόνα 7.3: Διεργασίες αεριοποίησης [58]

Το οργανικό υλικό δεν καίγεται γιατί δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο, αλλά μετατρέπεται σε αέριο που αποτελείται από CO, H<sub>2</sub> και N. Αυτό το αέριο περιέχει ουσιαστική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους.

Το καυτό αέριο ανεβαίνει μέσω των συσσωρευμένων ΑΣΑ στον αντιδραστήρα και ξεκινά η αεριοποίηση στο υλικό που είναι συσσωρευμένο στον αντιδραστήρα. Μέχρι να φτάσουν τα απορρίμματα στον πυθμένα του αντιδραστήρα, μέσω της υψηλής θερμοκρασίας, όλες οι οργανικές ενώσεις έχουν μετατραπεί σε αέρια.

Το αέριο που διαφεύγει από την κορυφή του αντιδραστήρα είναι φτιαγμένο πρωταρχικά από CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και N. Λόγω της έλλειψης οξυγόνου και της υψηλής θερμοκρασίας, τα βασικά στοιχεία του αερίου δεν μπορούν να σχηματίσουν τοξικές ενώσεις όπως φουράνες, διοξίνες NO<sub>x</sub>, ή διοξείδιο του θείου στον αντιδραστήρα .

Καθώς το αέριο βγαίνει από τον αντιδραστήρα οδηγείται σε ένα αναμορφωτή αερίου και μετά ψύχεται σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας. Η θερμοκρασία μειώνεται στους 270 °F περίπου και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

## 7.4 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΑ

Η μέθοδος της αναερόβιας επεξεργασίας εξετάζει την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Πρόκειται ουσιαστικά για μεταφορά των βιολογικών διεργασιών που υπόκεινται τα ΑΣΑ στους ΧΥΤΑ σε συστήματα που επιτρέπουν την αύξηση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου. Στόχος είναι η ανάκτηση ενέργειας με την μορφή μεθανίου, η μείωση του όγκου των ΑΣΑ αποβλήτων, και η βιολογική σταθεροποίησή τους. [59]

Το βιοαποδομήσιμο μέρος τους μετατρέπεται βιολογικά, κάτω από αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου), σε βιοαέριο και σε ένα μερικώς σταθεροποιημένο στερεό υλικό. Η βιολογική μετατροπή του ΟΚΑΣΑ πραγματοποιείται σε τρία στάδια, στο καθένα από τα οποία συμμετέχουν διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών.

Ένα σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας περιλαμβάνει τέσσερα λειτουργικά στάδια:

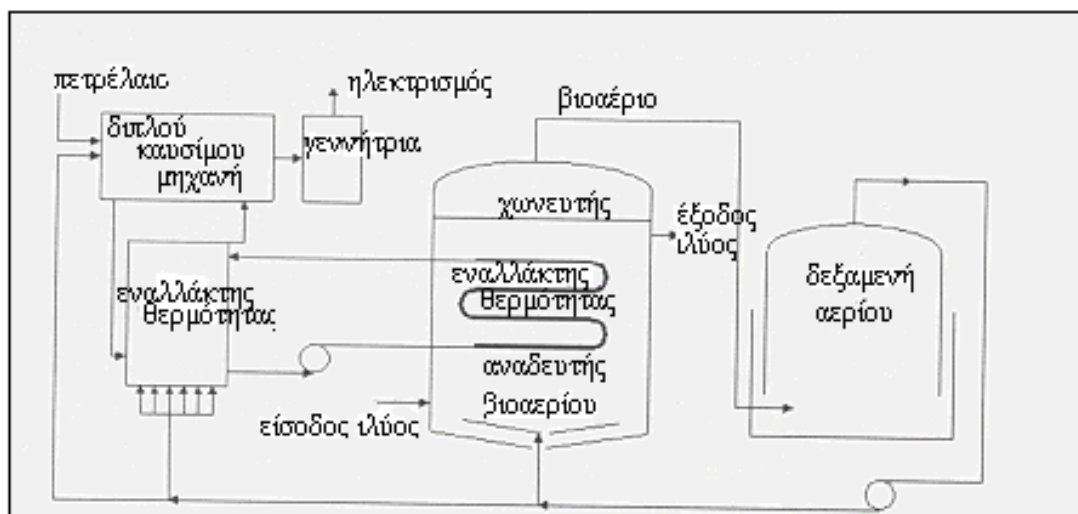
- προεπεξεργασία,
- αναερόβια χώνευση του αποβλήτου,
- ανάκτηση - επεξεργασία του παραγόμενου βιοαερίου και
- επεξεργασία των προϊόντων της χώνευσης

Κατά την προεπεξεργασία, τα εισερχόμενα απόβλητα υπόκεινται σε μια σειρά διεργασιών με στόχο τον διαχωρισμό, ανάκτηση και προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Υλικά που περιέχονται στα ΑΣΑ και που ενδείκνυνται για αναερόβια επεξεργασία είναι τα τροφικά υπολείμματα, τα απόβλητα κήπων και σε ορισμένες περιπτώσεις το χαρτί. Συχνά, γίνεται συνεπεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ με άλλα οργανικά υλικά, όπως βιολογική ιλύς, γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα. Ένας εναλλάκτης θερμότητας φέρει τα απόβλητα στη θερμοκρασία λειτουργίας του αντιδραστήρα. Τέλος, όταν η καταστροφή των παθογόνων είναι μειωμένη μέσω της χώνευσης, απαιτείται η ύπαρξη μιας δεξαμενής παστερίωσης, πριν ή μετά τον αντιδραστήρα.

Το οργανικό υλικό οδηγείται, στην συνέχεια, στον αναερόβια αντιδραστήρα, με υδραυλικό χρόνο παραμονής μερικές ημέρες.

Τα αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα της χώνευσης απαιτούν συνήθως επεξεργασία πριν την επαναχρησιμοποίησή τους ή την τελική τους διάθεση. Η επεξεργασία του βιοαερίου περιλαμβάνει απομάκρυνση του υδρόθειου και της περιεχόμενης υγρασίας. Επιπλέον διαχωρισμός και αφαίρεση του CO<sub>2</sub>, βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του βιοαερίου σε επίπεδα φυσικού αερίου δικτύου. Το βιοαέριο αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται σε μηχανές συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Μέρος της παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για την διατήρηση σταθερής

θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα και για τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Η υπόλοιπη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια πωλείται σε δραστηριότητες εκτός εγκατάστασης.



Εικόνα 7.4: Διάγραμμα ροής αναερόβιας διεργασίας [60]

Το μερικώς σταθεροποιημένο υλικό που προκύπτει κατά την αναερόβια επεξεργασία απαιτεί μείωση υγρασίας, που πραγματοποιείται μέσω παχυντών βαρύτητας και συστημάτων φυγοκέντρισης. Το υγρό κλάσμα που προκύπτει ανακυκλοφορείται για την ρύθμιση της υγρασίας στα εισερχόμενα απόβλητα, ενώ το πλεόνασμα, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων ρύπων απαιτεί προχωρημένες τεχνολογίες επεξεργασίας.

Το στερεό κλάσμα που προκύπτει από την αφυδάτωση της χώνεμης υλίου απαιτεί αερόβια μετεπεξεργασία για 2-3 εβδομάδες. Από αυτή την διαδικασία παράγεται κομπόστ που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία, σε ιδιωτικούς κήπους, σε αναπλάσεις τοπίου ή να χρησιμοποιηθεί ως κάλυμμα σε ΧΥΤΑ.

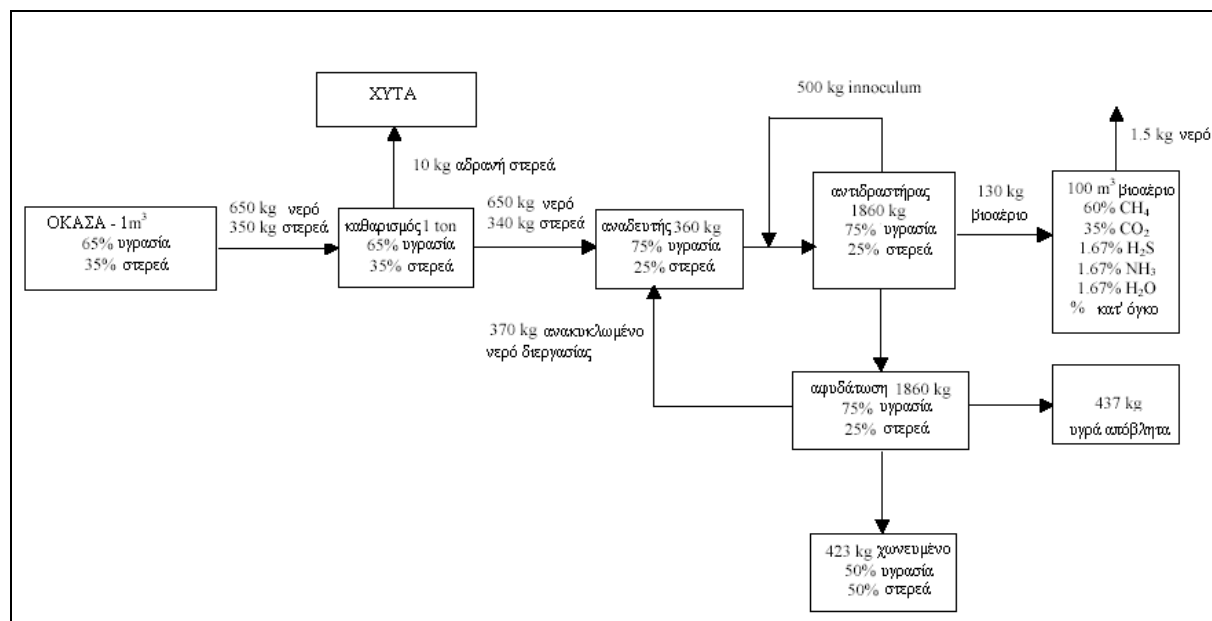
Πηγές βέβαια δίνουν εμπειρικές τιμές για την παραγωγή βιοαερίου από 1tn οργανικού τμήματος των ΑΣΑ (ΟΚΑΣΑ) περίπου 100-200m<sup>3</sup> ενώ η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από 1tn ΟΚΑΣΑ εκτιμάται σε 100-150kWh. [61]

Σε σύγκριση εγκαταστάσεων που λειτουργούν η παραγωγή του βιοαερίου φαίνεται να είναι περίπου στα 120m<sup>3</sup> ανά tn απορριπτόμενων αποβλήτων. Η σύνθεση βέβαια των αποβλήτων που φτάνουν σε μια τέτοιου είδους εγκατάσταση έχει μεγάλη σημασία. [62]

Σύμφωνα με την [60] η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί μια τεχνολογία παραγωγής ενέργειας σε αντίθεση με την αερόβια χώνευση κατά την οποία υπάρχει κατανάλωση ενέργειας 50-75kWh ανά τόνο εισερχόμενων ΑΣΑ. Έτσι λοιπόν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την αναερόβια διαδικασία μπορεί να είναι από 75-150 kWh ανά τόνο ΑΣΑ.

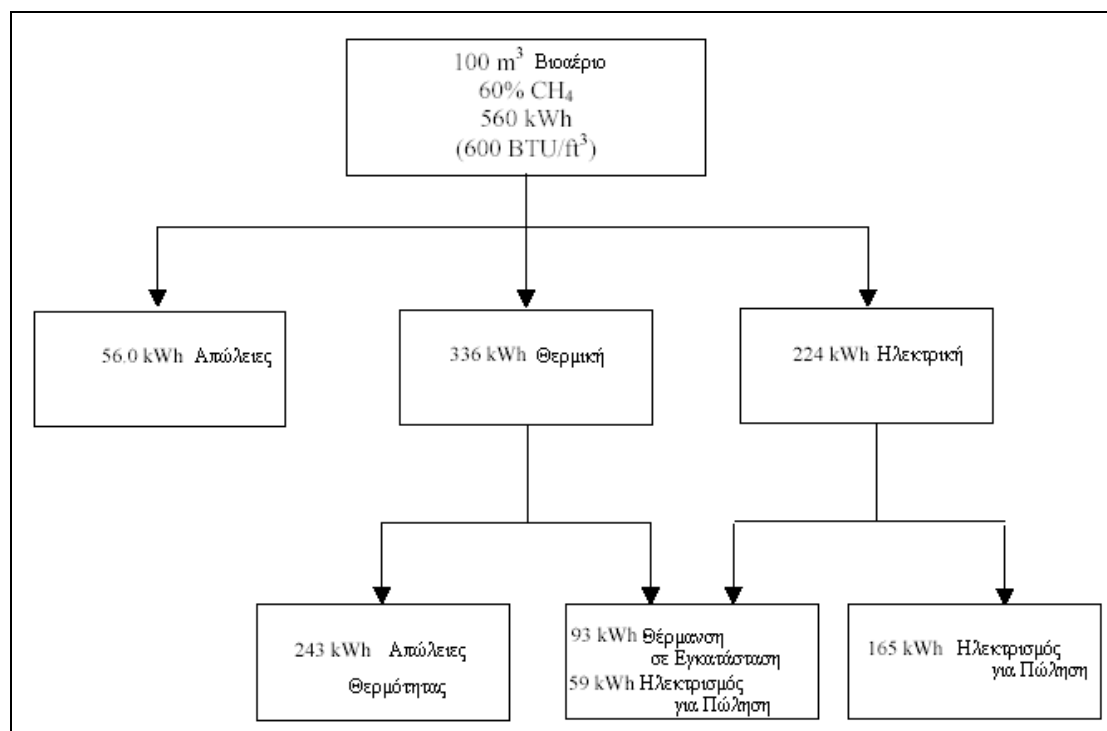
Η υγρασία του ΟΚΑΣΑ μπορεί να είναι από 50-65% ενώ θα πρέπει να προστεθεί επιπλέον νερό ώστε να αυξηθεί σε επίπεδα άνω του 75%. Αυτό επιτυγχάνεται

αφυδατώνοντας το τελικό χωνευμένο υλικό και ανακυκλοφορώντας το νερό πίσω στη δεξαμενή. Η υψηλή υγρασία αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική παράμετρο για την τροφοδοσία της αναερόβιας διεργασίας. Το επόμενο ισοζύγιο δείχνει πως η υγρασία αυτή μπορεί να προέρχεται εξ'ολοκλήρου από την ανακύκλωση εξοικονομώντας κόστος και φυσικούς πόρους. Μειονέκτημα βέβαια, της χρήσης του νερού αυτού, είναι η αύξηση των αλάτων στο τελικό κομπόστ. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν συνδυασμό φρέσκου νερού και νερού που προέρχεται από τη διαδικασία.



Εικόνα 7.5: Ισοζύγιο μάζας [60]

Τυπικές τιμές παραγωγής βιοαερίου κυμαίνονται από 80-130m<sup>3</sup>/tn τροφοδοτούμενων αποβλήτων. Το περιεχόμενο CH<sub>4</sub> στο βιοαέριο κυμαίνεται από 50% και φτάνει το 75% με πλέον αναφερόμενη από τις εγκαταστάσεις που λειτουργούν την τιμή 60%. Η χρήση του βιοαερίου φαίνεται αναλυτικά στο επόμενο ισοζύγιο.



Εικόνα 7.6: Ισοζύγιο ενέργειας [60]

Μεγάλες εγκαταστάσεις μπορούν να είναι απόλυτα αυτάρκειες σε ενέργεια. Οι χαμηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται κατά τη διεργασία της αναερόβιας επεξεργασίας ( $T < 45^{\circ}\text{C}$ ) επιτρέπει στην παραγόμενη θερμική ενέργεια να διατίθεται επίσης.

Προτού το βιοαέριο χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου θα πρέπει να απομακρυνθούν από αυτό οι υδρατμοί και το υδρόθειο ώστε να προστατεύεται ο εξοπλισμός από τη διάβρωση. Συχνά αφαιρείται και η αμμωνία. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί με χαμηλής θερμογόνου δύναμης βιοαέριο. Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι απ' ευθείας ανάλογη με την επί τοις εκατό περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο και εκφράζεται από τη σχέση:

$$1000\text{BTU/ft}^3 \cdot (\% \text{ περιεκτικότητα μεθανίου}) = \text{Θερμογόνος Δύναμη Βιοαερίου BTU/ft}^3 \quad (\text{εξ.7.1})$$

Ένας τόνος ΑΣΑ παράγει περίπου 80 – 150m<sup>3</sup> βιοαερίου, ανάλογα με τη διαδικασία που ακολουθείται. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι τιμές που έχουν αναφερθεί από κάποιες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αναερόβια επεξεργασία.

Πίνακας 7.3: Παραγωγή βιοαερίου ανά τεχνολογία Α.Χ.

Τεχνολογίες	Παραγωγή βιοαερίου (m <sup>3</sup> /tn τροφοδοσίας)
ΒΤΑ	80-120

Valorga	80-160
WAASA	100-150
RANCO	100-200
Linde	100
Kompogas	130

Το ισοδύναμο 100m<sup>3</sup> βιοαερίου, που προκύπτουν κατά την αναερόβια χώνευση, από ένα περίπου τόνο απορριμμάτων φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7.4: Ισοδύναμα καύσιμα που προκύπτουν από ένα tn ΑΣΑ

Βενζίνη	61L
Κάρβουνο	90kg
Ηλεκτρισμός	170kWh
Θέρμανση	250kWh

Οι μικρές εγκαταστάσεις συνήθως χρησιμοποιούν το βιοαέριο αποκλειστικά για θέρμανση, ώστε να επιτυγχάνεται η αναγκαία θερμοκρασία και να πραγματοποιείται η χώνευση. Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, με τη χρήση επιπλέον εξοπλισμού.

Η θεωρητική ποσότητα του μεθανίου που μπορεί να παραχθεί κατά την αναερόβια διαδικασία μπορεί να υπολογιστεί βάσει της ακόλουθης διαδικασίας: [56]

Το ποσό του άνθρακα που είναι διαθέσιμο για το σχηματισμό μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$C_{oe}/C_o = 0,014T + 0,28 \quad (\text{εξ.7.2})$$

όπου  $C_{oe}$  το ποσό του άνθρακα που είναι διαθέσιμο για το σχηματισμό βιοαερίου,  $C_o$  το συνολικό ποσό του άνθρακα και  $T$  η θερμοκρασία

Σε θερμοκρασία των 36°C:

$$C_{oe}/C_o = 0,014 \cdot 36 + 0,28 = 0,784$$

78,4% του άνθρακα δηλαδή είναι διαθέσιμο για το σχηματισμό βιοαερίου. Από τους πίνακες στο κεφάλαιο 2 μπορεί να υπολογιστεί πως το  $C_o$  για το ΟΚΑΣΑ κυμαίνεται από 0,16-0,17 kg, οπότε:

$$C_{oe} = 0,784 \cdot 0,165 = 0,13$$

Συνεπώς από τη συνολική ποσότητα του άνθρακα ανά kg ΑΣΑ, 0,13kg του άνθρακα διατίθεται για το σχηματισμό βιοαερίου



Υποθέτοντας πως το 60% του άνθρακα μετατρέπεται σε μεθάνιο, και το MB του μεθανίου είναι 16 τότε για κάθε kg ΑΣΑ η παραγόμενη ποσότητα του μεθανίου θα είναι :

Ποσότητα μεθανίου =  $16/12 \cdot 0,13 = 0,104$  kg ανά kg ΟΚΑΣΑ

Η δυνητική ενέργεια ανά  $m^3$  μεθανίου είναι περίπου 33.810 kJ ανά  $m^3$ . Το ειδικό βάρος του μεθανίου είναι  $0,672$  kg/ $m^3$ .

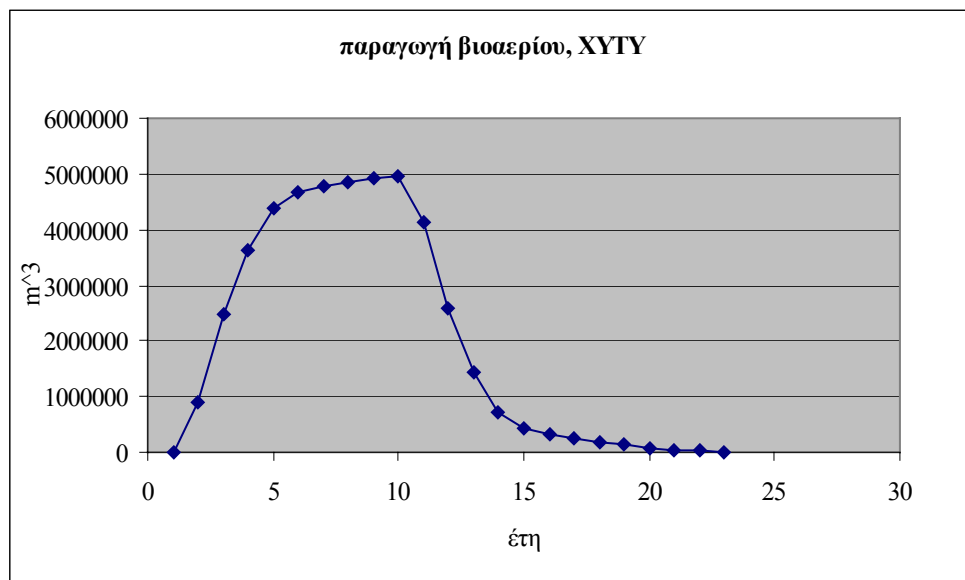
Η δυνητική ενέργεια ανά kg ΟΚΑΣΑ:

$$\left( \frac{0,104 \text{ kg}}{\text{kg ΟΚΑΣΑ}} \right) \cdot 33.810 \frac{\text{KJ}}{m^3} = 5232,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg ΟΚΑΣΑ}}$$

## 7.5 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 7.5.1 Ενέργεια βιοαερίου από ΧΥΤΥ

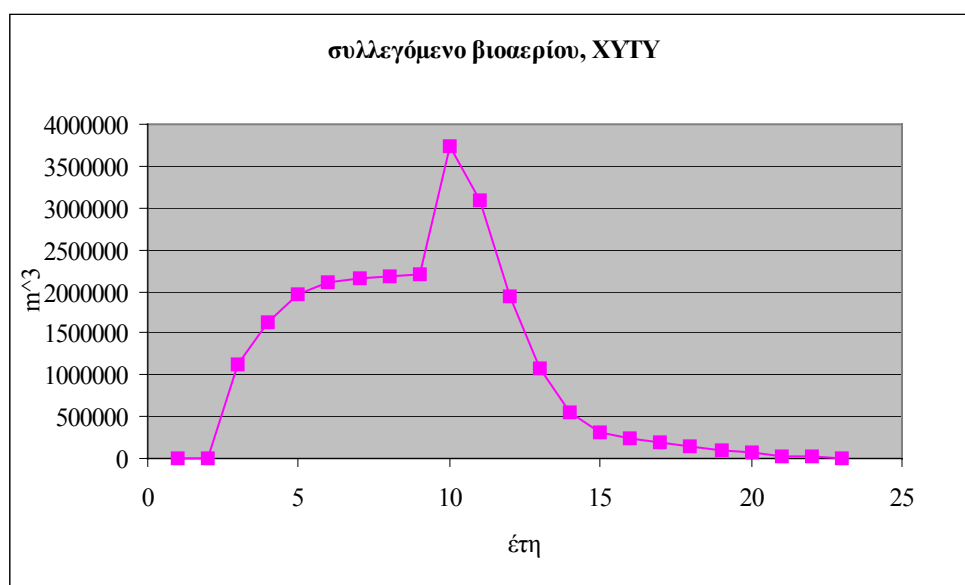
Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 η παραγωγή του βιοαερίου είναι η επόμενη.



Εικόνα 7.7: Συνολική παραγωγή βιοαερίου από ΧΥΤΥ

Γίνονται επιπλέον οι εξής παραδοχές,

- η συλλογή του βιοαερίου δεν είναι εφικτή κατά τα δυο πρώτα έτη απόθεσης,
- η συλλογή του βιοαερίου κατά τα έτη λειτουργίας του ΧΥΤΥ φτάνει το 45%,
- μετά το πέρας της λειτουργίας του οπότε και ο χώρος αποκαθίσταται η συλλογή είναι 75%.



Εικόνα 7.8: Συλλογή βιοαερίου από ΧΥΤΥ

Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι  $18,8\text{MJ}/\text{m}^3$  ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια σε μηχανή εσωτερικής καύσης απαιτούνται  $13,65\text{MJ}$  για την παραγωγή  $1\text{KW}$  ενέργειας.

Έτσι λοιπόν, το τρίτο έτος π.χ. της λειτουργίας του ΧΥΤΑ οπότε και θεωρείται πως έχουν συλλεχθεί  $1.238.456,25\text{m}^3$  βιοαερίου, η συνολική διαθέσιμη ενέργεια θα είναι:

$$\left( 1.238.456,25 \frac{\text{m}^3}{\text{yr} \frac{365\text{d}}{\text{yr}}} \right) \cdot \frac{18,8\text{MJ}}{\text{m}^3} \Big/ 24\text{h}/\text{d} = 2657,87 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

Με την υπόθεση πώς έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανή εσωτερικής καύσης η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια θα είναι  $0,19\text{MW}$

Πίνακας 7.5: Ηλεκτρική ενέργεια από ΧΥΤΥ

Έτη	Συλλεγόμενο βιοαέριο, $\text{m}^3/\text{hr}$	Ενέργεια βιοαερίου, $\text{MJ}/\text{hr}$	Ηλεκτρική ενέργεια, $\text{MW}$	Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια, $\text{MWh}$
1	0,00	0,00	0,000	0
2	0,00	0,00	0,000	0
3	141,38	2657,87	0,195	1708,2
4	207,53	3901,52	0,286	2505,36
5	249,59	4692,23	0,344	3013,44
6	267,26	5024,45	0,368	3223,68
7	272,29	5119,10	0,375	3285
8	276,74	5202,63	0,381	3337,56
9	280,59	5275,07	0,386	3381,36
10	397,39	7470,95	0,547	4791,72
11	376,60	7080,13	0,519	4546,44
12	235,53	4427,98	0,324	2838,24
13	132,05	2482,57	0,182	1594,32
14	66,17	1244,08	0,091	797,16
15	38,37	721,42	0,053	464,28
16	30,32	569,99	0,042	367,92
17	23,21	436,33	0,032	280,32
18	17,04	320,44	0,023	201,48
19	11,83	222,32	0,016	140,16
20	7,56	142,16	0,010	87,6
21	4,25	79,96	0,006	52,56
22	1,89	35,54	0,003	26,28
23	0,47	8,88	0,001	8,76
24	0,00	0,00	0,000	0

### 7.5.2 Ενέργεια από καύση

Θα εξεταστεί ενδεικτικά η περίπτωση του ΧΥΤΥ κατά το πρώτο έτος λειτουργίας του. Σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν στο ΧΥΤΥ θα καταλήγουν περίπου 55.000kg ημερησίως (κεφάλαιο 3), ενώ η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων αυτών είναι 8,3MJ/kg (κεφάλαιο 2). Στην πραγματικότητα η ποσότητα των ΑΣΑ θα είναι μικρότερη καθώς θα πρέπει να προηγηθεί κάποια διεργασία επιπλέον διαχωρισμού προτού τα ΑΣΑ οδηγηθούν για θερμική επεξεργασία

i) Συνολική διαθέσιμη ενέργεια

$$\left( 55.000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot 8,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) / 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 19.020 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

Στην απλή περίπτωση που η εγκατάσταση αποτελείται από ένα καυστήρα, ένα στρόβιλο και μια γεννήτρια σύμφωνα και με τον πίνακα 7.1 θα ισχύουν τα εξής:

ii) Ενέργεια ατμού διαθέσιμη από τον καυστήρα

$$19.020 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,7 = 13.314,6 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

iii) Μηχανική ενέργεια διαθέσιμη από τον ατμοστρόβιλο

$$13.314,6 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,3 = 3.994,4 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

iv) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γεννήτριας

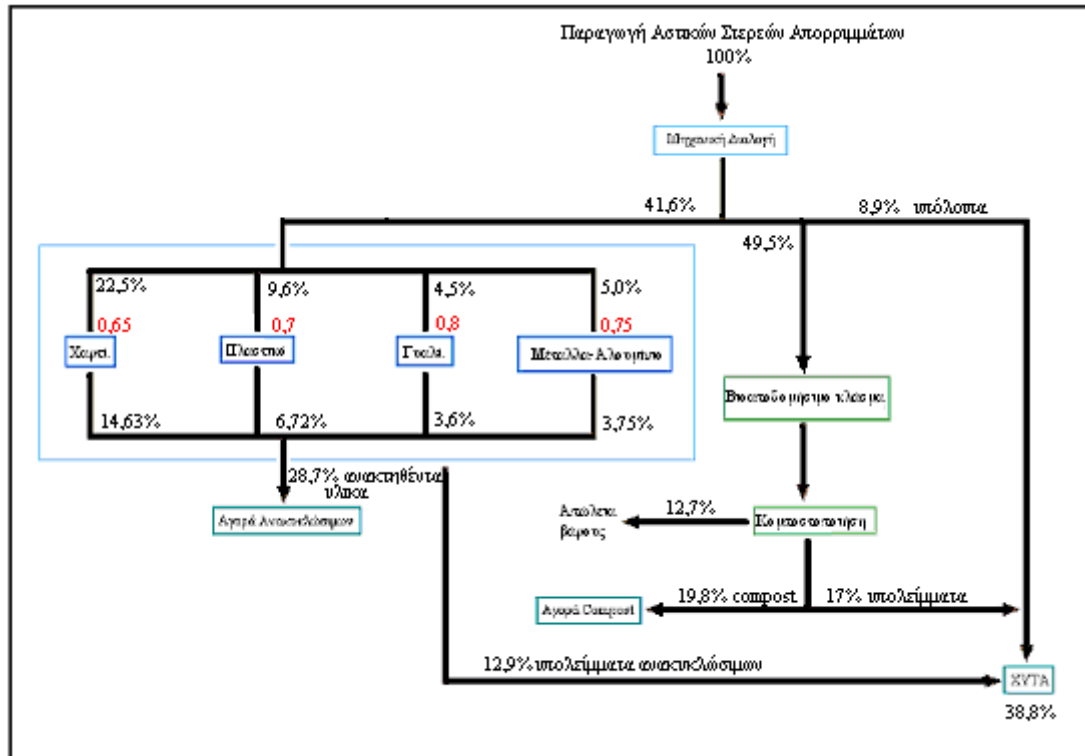
$$3.994,4 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,96 = 3.835 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

v) Η διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$3.835 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,96 \cdot \frac{1\text{MWhr}}{3600\text{MJ}} = 1,02\text{MW}$$

vi) Η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια θα είναι 8935MWh

Στην περίπτωση που θεωρηθεί πως γίνεται ανάκτηση RDF (πλαστικό και χαρτί) μέσω μηχανικής διαλογής και υιοθετηθούν τα ποσοστά της [24] προκύπτει το επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 7.9: Διάγραμμα ροής διαχείρισης ΑΣΑ στην περίπτωση ύπαρξης ΕΜΑΚ [24]

Το σύνολο της μάζας του χαρτιού και του πλαστικού στην περίπτωση αυτή θα είναι 14100kg περίπου ημερησίως με θερμογόνο δύναμη (από properties.f) ίση με 18MJ/kg

i) Συνολική διαθέσιμη ενέργεια

$$\left( 14.100 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \cdot 18,8 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) / 24 \text{ h/d} = 11.045 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

Με παρόμοια διαδικασία με προηγουμένως

ii) Ενέργεια ατμού διαθέσιμη από τον καυστήρα

$$11.045 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,7 = 7.731 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

iii) Μηχανική ενέργεια διαθέσιμη από τον αμοστρόβιλο

$$7.731 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,3 = 2.319,5 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

iv) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γεννήτριας

$$2.319,5 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}} \cdot 0,96 = 2.227 \frac{\text{MJ}}{\text{hr}}$$

v) Η διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς είναι:

$$2.227 \frac{MJ}{hr} \cdot 0,96 \cdot \frac{1MWhr}{3600MJ} = 0,6 \frac{MJ}{hr}$$

vi) Η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια θα είναι 5260MWh

### 7.5.3 Ενέργεια βιοαερίου από αναερόβια χώνευση

Στην περίπτωση που θεωρηθεί πάλι η περίπτωση του ΧΥΤΥ και το ΟΚΑΣΑ ίσο με τα ΓΑΣΑ όπως υπολογίστηκαν στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, το ΟΚΑΣΑ είναι 0,76kg ανά kg ΑΣΑ. Το ξηρό βάρος των ΟΚΑΣΑ είναι 0,329kg και η υγρασία είναι 56,7%. Η απαιτούμενη υγρασία για να επιτευχθεί η αναερόβια χώνευση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 70% οπότε το βάρος των ΟΚΑΣΑ θα αυξηθεί και θα ισούται με 1,097kg.

Τα ολικά πτητικά στερεά θεωρούνται ίσα με 70% των ολικών στερεών

$$TVS = 0,7 \cdot (0,329kg)$$

Τα βιοαποδομήσιμα πτητικά στερεά θεωρούνται ίσα με BVS με 70% των TVS οπότε

$$BVS = 0,7 \cdot [0,7 \cdot (0,329kg)]$$

Θεωρώντας πως ο συντελεστής μετατροπής είναι των BVS είναι 0,75

$$BVS' = 0,75 \cdot \{0,7 \cdot [0,7 \cdot (0,329kg)]\}$$

Από το αρχείο methane.out στο κεφάλαιο 2 το βιοαέριο που παράγεται από το ξηρό

$$\text{βάρος των ΓΑΣΑ είναι } 0,92 \frac{m^3}{kg}.$$

Συνεπώς το βιοαέριο που παράγεται από τα BVS θα είναι

$$\text{Παραγόμενο βιοαέριο} = 0,75 \cdot \{0,7 \cdot [0,7 \cdot (0,329 kg \cdot 0,92 \frac{m^3}{kg})]\} = 0,112m^3.$$

Τα παραγόμενα ΑΣΑ που φτάνουν στο ΧΥΤΥ το 1<sup>ο</sup> έτος είναι περίπου  $20 \cdot 10^6 kg$  ενώ τα ΓΑΣΑ περίπου  $15,2 \cdot 10^6 kg$  με δεδομένη την παραγωγή  $0,112m^3/kg$  κατά την αναερόβια διαδικασία η συνολική διαθέσιμη ενέργεια θα είναι:

$$\left( 15,2 \cdot 10^6 \frac{kg}{yr} \cdot \frac{365d}{yr} \cdot 0,112 \frac{m^3}{kg} \right) \cdot \frac{18,8MJ}{m^3} \Bigg/ 24 \frac{h}{d} = 3653,5 \frac{MJ}{hr}$$

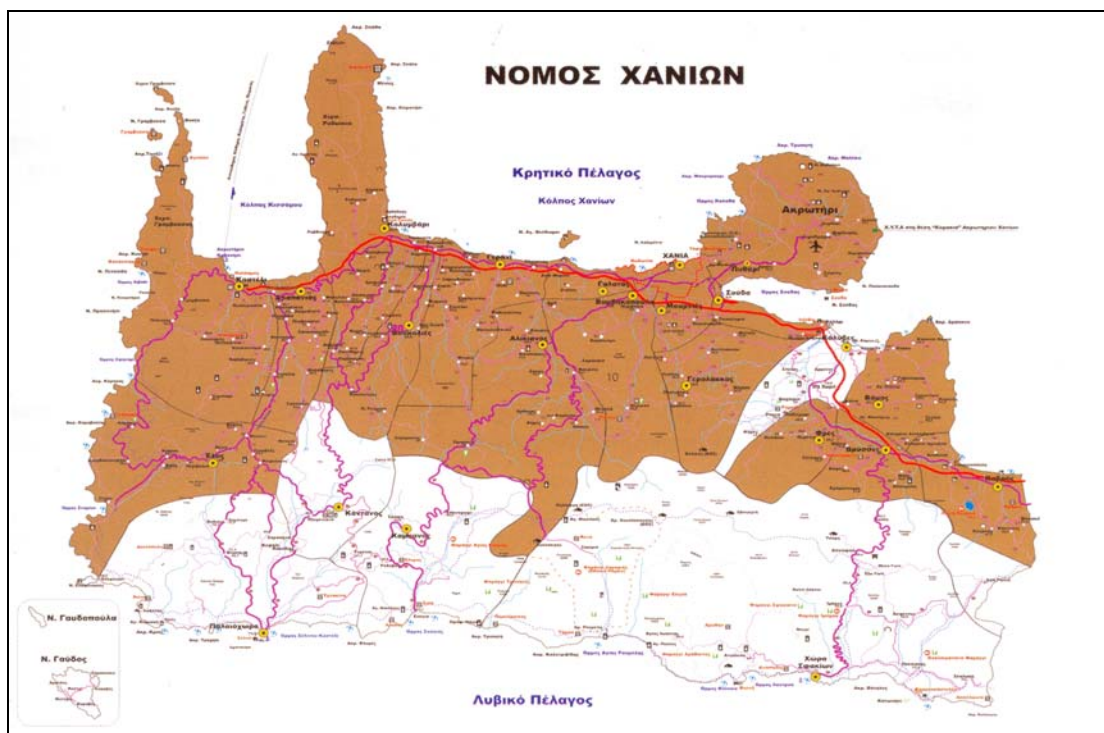
Καθώς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανή εσωτερικής καύσης απαιτούνται 13,65MJ για την παραγωγή  $10^{-3}kW$  ενέργειας η διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς θα είναι 0,267MW και η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια θα είναι 2340MWh

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΕΜΑΚ& ΧΥΤΥ ΧΑΝΙΩΝ

#### 8.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης & Κομποστοποίησης (Ε.Μ.Α.Κ) και ο ΧΥΤΥ σχεδιάστηκε να δέχεται ΑΣΑ των 9 δήμων μετόχων και των 6 συνεργαζόμενων, με τη ΔΕΔΙΣΑ, δήμων.



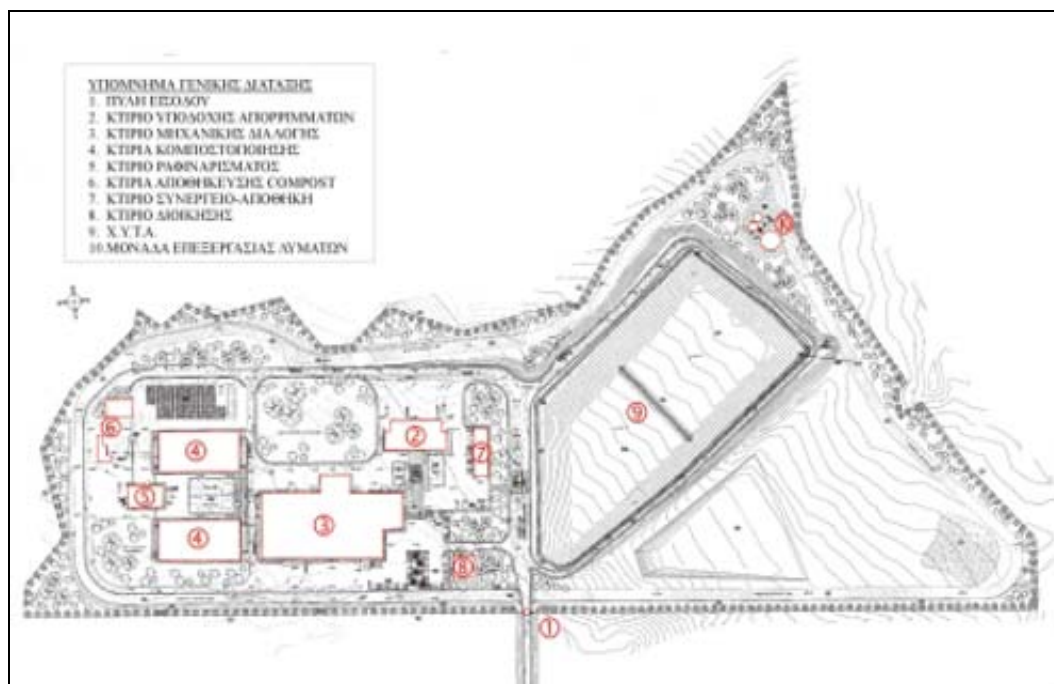
Εικόνα 8.1: Η περιοχή η οποία εξυπηρετείται από ΕΜΑΚ & ΧΥΤΥ [63]

Η παραγωγή των ΑΣΑ έχει υπολογιστεί σε 70.000 τόνους ετησίως και των πράσινων απορριμμάτων σε 10.500 τόνους. [63]

Από την επεξεργασία των ΑΣΑ αξιοποιείται το 65% ως εμπορεύσιμο ανακυκλώσιμο υλικό και εδαφοβελτιωτικό και το υπόλοιπο 35% οδηγείται στο ΧΥΤΥ.

Οι εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν σε έκταση 235,5 στρέμματα νότια της χαράδρας του Κουρουπητού στο Ακρωτήρι Χανίων.

Το εργοστάσιο αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα: υποδοχής ΑΣΑ, μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής, κομποστοποίησης, ραφινάρισματος, και αποθήκευσης compost, ΧΥΤΥ. Διαθέτει επιπλέον διοικητήριο, συνεργείο οχημάτων και αποθήκη.



Εικόνα 8.2: Γενική διάταξη Εγκαταστάσεων[63]

Αριστερά της εισόδου διατάσσονται τα κτίρια του εργοστασίου και δεξιά ο χώρος ταφής.



Εικόνα 8.3: Κτίρια εργοστασίου [64]



## 8.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Αρχικά τα απορριμματοφόρα κατευθύνονται στο ζυγιστήριο εισόδου. Η ζύγιση των εισερχομένων οχημάτων γίνεται μέσω δύο γεφυροπλαστιγγών τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται στη θέση εκφορτώσεως τους. [63]

Στο κτίριο υποδοχής γίνεται η εκκένωση των απορριμματοφόρων και η παραλαβή των σύμμεικτων ΑΣΑ. Επιπλέον, παρέχεται αποθηκευτική ικανότητα για την παραλαβή της μέγιστης ποσότητας ΑΣΑ τη Δευτέρα (δύο ημερών) και τη σταδιακή επεξεργασία τους κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.



Εικόνα 8.4: Κτίριο Υποδοχής

Το κτίριο περιλαμβάνει δύο δεξαμενές υποδοχής με χοάνες παραλαβής ΑΣΑ για την τροφοδοσία των δύο σχιστών σάκων. Τα ΑΣΑ που συλλέγονται στη δεξαμενή υποδοχής, παραλαμβάνονται από σύστημα γερανογέφυρας-αρπάγης και απορρίπτονται στη χοάνη παραλαβής και τροφοδοτούν το σχίστη σάκων.



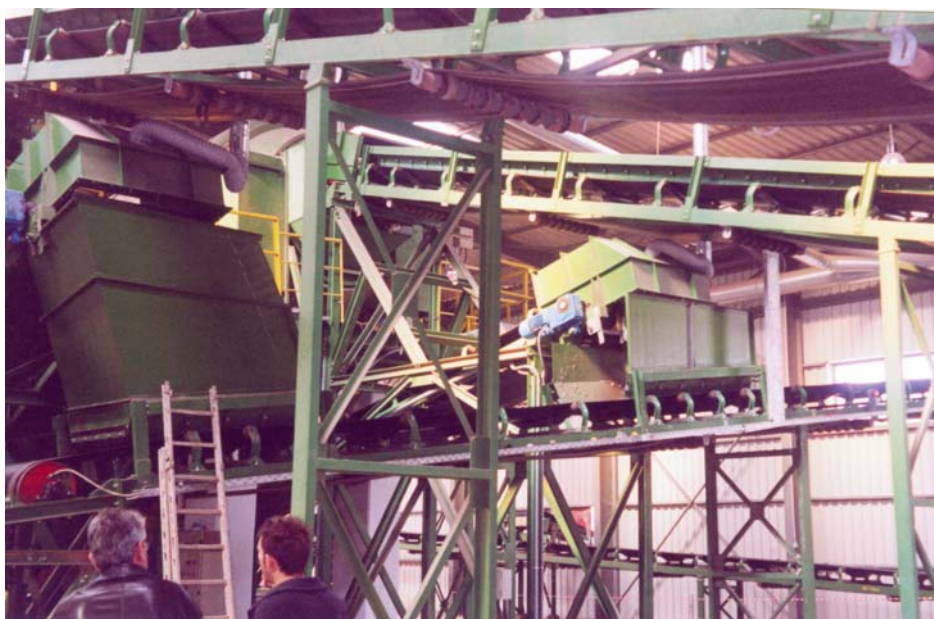
Εικόνα 8.5: Δεξαμενές υποδοχής και αρπάγη

Ο σχίστης σάκων τροφοδοτεί εν συνεχεία μεταφορική ταινία, η οποία μεταφέρει τα απορρίμματα προς επεξεργασία στην μονάδα μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής. Επιπλέον, στο τμήμα υποδοχής απομακρύνονται τα οποία συλλέγονται σε container από όπου μεταφέρονται στο ΧΥΤΥ.



Εικόνα 8.6: Ταινία ανάκτησης ανεπιθύμητων υλικών

Από το σχίστη σάκων τα ΑΣΑ οδηγούνται στις μεταφορικές ταινίες για το εργοστάσιο μηχανικής διαλογής.



Εικόνα 8.7: Χώρος μηχανικής διαλογής

Στο κτίριο μηχανικής διαλογής πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των εισερχόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων προς παραγωγή τεσσάρων κλασμάτων, από τα οποία παράγονται εμπορεύσιμα προϊόντα:

- του κλάσματος προς ταχεία κομποστοποίηση, με ελεγχόμενη βιοαποδόμηση οργανικών για την παραγωγή compost,
- ορισμένων κατηγοριών πλαστικών,

- ορισμένων κατηγοριών χαρτιού,
- σιδηρούχων μετάλλων και
- αλουμίνιο.

Στο τμήμα της χειροδιαλογής πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων υλικών εκτός από τα σιδηρούχα και αλουμινούχα. Τα υλικά που ανακτώνται σε αυτό το τμήμα είναι κατά σειρά, το τμήμα του φύλλου πλαστικού, τρία είδη χαρτιού σκληρό πλαστικό και το οργανικό κλάσμα. Μετά τη συμπίεση και δεματοποίησή τους οδηγούνται προς αποθήκευση.



*Εικόνα 8.8: Χειροδιαλογή ΑΣΑ*

Μετά την χειροδιαλογή των ανεπιθύμητων υλικών ακολουθεί η φάση της πρωτοβάθμιας κοσκίνισης όπου διαχωρίζονται τα ευμεγέθη υλικά από το υπόλοιπο ρεύμα των ΑΣΑ που οδεύει προς περαιτέρω επεξεργασία στο δευτεροβάθμιο κόσκινο.

Το κυρίως ρεύμα που εξέρχεται από την ταινία χειροδιαλογής αποτελείται ως επί το πλείστον αδρανή, άχρηστα, γυαλί, σιδερένια αντικείμενα και κουτάκια αλουμινίου, εισέρχεται στο μαγνητικό πεδίο μόνιμου μαγνήτη, όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των σιδηρούχων υλικών από το υπόλοιπο κλάσμα. Στη συνέχεια, το ρεύμα, οδηγείται στο διαχωριστή αλουμινούχων, στον οποίο διαχωρίζονται τα υλικά αλουμινίου.



*Εικόνα 8.9: Μαγνήτης*

Μετά την ανάκτηση των εμπορεύσιμων ευμεγεθών υλικών, το εναπομείναν ρεύμα των ΑΣΑ συλλέγεται σε κιβώτια και οδηγείται στο ΧΥΤΥ.



*Εικόνα 8.10: Έξοδος διαχωρισμένων υλικών*

Το κλάσμα των ΑΣΑ που διέρχονται από τις οπές του πρωτοβάθμιου κόσκινου, που αποτελεί το κυρίως ρεύμα των απορριμμάτων, οδηγείται στο στάδιο της δευτεροβάθμιας κοσκίνισης. Το κόσκινο αυτό διαχωρίζει το κυρίως οργανικό ρεύμα των ΑΣΑ που έχει κατά κύριο λόγο μέγεθος μικρότερο των 70mm από τα υπόλοιπα ανακτήσιμα υλικά.

Το συγκρατούμενο κλάσμα από τη δευτεροβάθμια κοσκίνιση οδηγείται προς χειροδιαλογή. Το διερχόμενο οργανικό κλάσμα αφού υποστεί μαγνητικό διαχωρισμό, για την απομάκρυνση των σιδηρούχων αντικειμένων (καρφιά, βίδες κτλ), που περιέχονται σε αυτό, οδηγείται απ' ευθείας προς κομποστοποίηση.

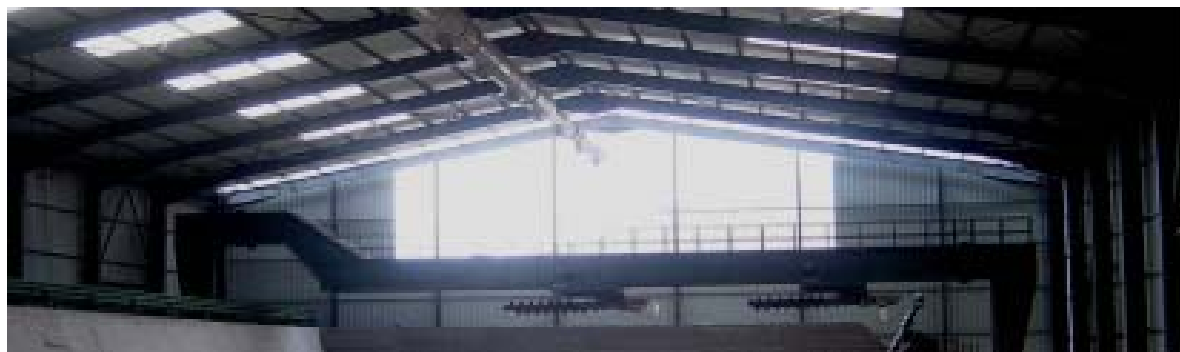
Το οργανικό κλάσμα που διαχωρίζεται από τα σύμμεικτα ΑΣΑ στο τμήμα μηχανικής διαλογής, οδηγείται στο τμήμα ταχείας κομποστοποίησης μαζί με ποσότητα συνολικά 40 τόνων ημερησίως κλαδιών και χόρτων.



Εικόνα 8.11: Τμήμα Ταχείας Κομποστοποίησης [63]

Τα πράσινα απορρίμματα (κλαδιά, φύλλα, χόρτα) αποτελούν ιδανικό υλικό για την παραγωγή αρίστης ποιότητας compost οπότε η συμμετοχή τους στην κομποστοποίηση της μονάδας είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.

Για την επίτευξη μικρού μεγέθους οργανικών, χρησιμοποιείται τεμαχιστής οργανικού υλικού. Τα τεμαχισμένα οργανικά προωθούνται στην συνέχεια προς την μονάδα ταχείας κομποστοποίησης η οποία πραγματοποιείται σε αντιδραστήρα λιπασματοποίησης υπό ταυτόχρονο αερισμό και ανάδευση.



Εικόνα 8.12: Αντιδραστήρας λιπασματοποίησης [63]

Ο αντιδραστήρας λιπασματοποίησης αποτελείται από κλίνη που περιέχει το προς κομποστοποίηση οργανικό υλικό και από μια γέφυρα που φέρει δύο φορεία έκαστο εκ των οποίων φέρει δύο περιστρεφόμενους κεκλιμένους κοχλίες. Η δράση του κοχλία είναι διπλή: αφ' ενός προωθεί το υλικό προς την έξοδο του αντιδραστήρα και αφ' ετέρου το αναδεύει και το ομογενοποιεί.

Το υλικό παραμένει στην μονάδα ταχείας κομποστοποίησης για χρονικό διάστημα 6 εβδομάδων υπό διαρκή αερισμό και υπό μηχανική ανάδευση τις 3 πρώτες εβδομάδες και υπό ανάδευση τις υπόλοιπες 3.



Εικόνα 8.13: Κτίρια ταχείας κομποστοποίησης [63]

Το παραγόμενο compost από τη μονάδα ταχείας κομποστοποίησης οδηγείται προς ραφινάρισμα. Η διαδικασία αυτή συνίσταται στο διαχωρισμό του compost από ξένες προσμίξεις καθώς και από τα μη πλήρως κομποστοποιημένα οργανικά στερεά.



Εικόνα 8.14: Χώρος ραφινάρισματος

Μετά το ραφινάρισμα του compost, τυχόν υπολείμματα μικρομεγεθών σιδηρούχων υλικών διαχωρίζονται με τη βοήθεια ενός μαγνητικού διαχωριστή από τα τυχόν υπάρχοντα σιδηρούχα αντικείμενα.

Το compost μετά το ραφινάρισμα παραλαμβάνεται από άλλη μεταφορική ταινία για τη μεταφορά του στην πλατεία χουμοποίησης, όπου διαστρώνεται σε μορφή σωρών συγκεκριμένων διαστάσεων. Το υλικό παραμένει εκεί για διάστημα 4 εβδομάδων, προκειμένου να ολοκληρωθούν οι διεργασίες ωρίμανσης πριν την τελική του διάθεση στην αγορά. Το εν λόγω υλικό προτού εισέλθει στο σύστημα τυποποίησης, αποθηκεύεται σε κλειστή αποθήκη για διάστημα 4 εβδομάδων, προκειμένου να ολοκληρωθεί η ωρίμανσή του. Μετά την ωρίμανσή του ενσακίζεται και αποθηκεύεται μέχρι την διάθεσή του στην αγορά



Εικόνα 8.15: Σειράδια κομπόστ

Από την διατιθέμενη έκταση του γηπέδου 235,5 στρ, τα 130 στρέμματα χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση του ΧΥΤΥ. Ο ενεργός χώρος του ΧΥΤΥ ανέρχεται στα 35 στρ για την Α' Φάση λειτουργίας και στα 36 στρέμματα για την Β' Φάση λειτουργίας

Η υδρολογική λεκάνη στην οποία βρίσκεται ο ΧΥΤΥ, έχει επίμηκες σχήμα και εκτείνεται νότια της χαράδρας του Κουρουπητού, με μέγιστη απόσταση από αυτή περίπου 1250 m και μέγιστο υψόμετρο +134 m. Αναπτύσσεται με κλίσεις της τάξης του 4% έως 7%, και αποχετεύεται στη βόρεια και βορειοανατολική πλευρά της χαράδρας και στη θάλασσα.

Ο ΧΥΤΥ μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει δύο χρονικές περιόδους λειτουργίας,

- αυτή όπου οδηγήθηκαν σε αυτόν σύμμεικτα δεματοποιημένα ΑΣΑ και
- αυτήν που θα οδηγούνται τα υπολείμματα της επεξεργασίας της Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης.

Το ποσοστό που θα οδηγείται στο ΧΥΤΥ θα είναι το 35% του συνόλου των ΑΣΑ.

Η χωρητικότητα του ΧΥΤΥ είναι 440.000m<sup>3</sup>. Έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη χωρητικότητα χωρίς το ανάγλυφο να φτάνει σε απαγορευτικά ύψη, να ξεπερνά την ισοϋψή των 105m.

Οι εκσκαφές που έγιναν είναι της τάξης των 110.000 m<sup>3</sup>, ενώ προκειμένου να διαμορφωθούν τα περιμετρικά πρανή έγιναν επιχώσεις 115.000 m<sup>3</sup>.

Η διαμόρφωση του απορριμματικού ανάγλυφου ΧΥΤΥ γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε :

- το ανάγλυφο να προσαρμόζεται στον περιβάλλοντα χώρο,
- το μέγιστο ύψος του απορριμματικού όγκου (συμπεριλαμβανομένης της τελικής κάλυψης) δεν υπερβαίνει την ισοϋψή των 105m (μέσο ύψος των απορριμμάτων 15,5 m),
- εξασφαλίζεται ωφέλιμος όγκος για την διάθεση των απορριμμάτων και των υπολειμμάτων στη συνέχεια, ο οποίος αντιστοιχεί σε διάρκεια ζωής ίση με 13 χρόνια.



Εικόνα 8.16: 1<sup>η</sup> λεκάνη απόθεσης

Τέλος επιτυγχάνεται ανάπτυξη Β' Φάσης ανάλογης και μάλιστα μεγαλύτερης χωρητικότητας από την Α' Φάση δηλαδή ίση με 670.000 m<sup>3</sup>.





Εικόνα 8.17: 2<sup>η</sup> λεκάνη απόθεσης

Τα στραγγίσματα συλλέγονται στο κατώτατο σημείο του στο Β.Α. άκρο της λεκάνης. Από εκεί, μέσω αποστραγγιστήριας τάφρου οδηγούνται με φυσική ροή στο κατώτερο σημείο του διαμορφωμένου πυθμένα. Μεταφέρονται στη συνέχεια στη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, στην οποία πραγματοποιείται τριτοβάθμια επεξεργασία των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ, καθώς και των υγρών αποβλήτων του ΕΜΑΚ με τη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού τύπου SBR. Τα επεξεργασμένα στραγγίσματα είτε επανακυκλοφορούν πίσω στο χώρο του ΧΥΤΑ, είτε διατίθενται στους χώρους του έργου για άρδευση.



Εικόνα 8.18: Σύστημα επεξεργασίας στραγγισμάτων

Ο ΧΥΤΑ είναι εξοπλισμένος με δίκτυο συλλογής του παραγόμενου βιοαερίου που αποτελείται από κατακόρυφα φρεάτια συλλογής. Το συλλεγόμενο βιοαέριο οδηγείται σε πυρσό καύσης που έχει τοποθετηθεί σε κατάλληλη θέση εκτός της λεκάνης απορροής.

### 8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΣΕ ΧΥΤΥ ΧΑΝΙΩΝ

Η ποιοτική σύσταση των τροφοδοτούμενων στο έργο ΑΣΑ σύμφωνα με το διαχειριστικό σχέδιο, παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 8.1: Σύθεση ΑΣΑ που φτάνουν στην εγκατάσταση σύμφωνα με τη ΔΕΔΙΣΑ

Υλικά	% κ.β
Υπολείμματα κουζίνας	55
Χαρτί - χαρτόνι	18,6
Γυαλί	3,75
Αλουμίνιο	1
Σιδηρούχα μέταλλα	2,75
Πλαστικά	8,55
Ύφασμα	1,65
Δέρμα – Λάστιχο	0,5
Ξύλα – Χόρτα	1,8
Αδρανή	2

Από την επεξεργασία το 65% ανακτάται σε εμπορεύσιμα ανακυκλώσιμα υλικά και εδαφοβελτιωτικό οπότε η παραγόμενη ποσότητα ανακυκλώσιμων για κάθε κατηγορία ως εξής κατ' έτος.

Πίνακας 8.2: Διαθέσιμες προς πώληση ποσότητες υλικών

Προϊόν	Διαθέσιμες προς πώληση ποσότητες, (tn)
ΣΙΔΗΡΟΣ	1.768
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	546
ΧΑΡΤΙ	6.006
ΧΑΡΤΟΝΙ	1.742
PET	104
PE	3.640
COMPOST	21.268
ΣΥΝΟΛΟ	35.000

Στο ΧΥΤΥ θα οδηγείται το υπόλοιπο 35%, έχοντας την ακόλουθη σύθεση.

Πίνακας 8.3: Σύθεση ΑΣΑ που φτάνουν στο ΧΥΤΥ σύμφωνα με τη ΔΕΔΙΣΑ

Υλικά	% κ.β
Υπολείμματα	39,8

κουζίνας	
Χαρτί - χαρτόνι	7,3
Γυαλί	16,2
Αλουμίνιο	0,4
Σιδηρούχα μέταλλα	0,6
Πλαστικά	12,6
Ύφασμα	6,5
Δέρμα	3,2
Λάστιχο	3,4
Ξύλα	5,6
Αδρανή	3,6

Χρησιμοποιώντας τον τελευταίο πίνακα και όσα έχουν προηγηθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, εκτιμώνται αρχικά οι ιδιότητες των ΑΣΑ που φτάνουν στο ΧΥΤΥ. Τα αρχεία εισόδου και εξόδου παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

### 8.3.1 Ιδιότητες ΑΣΑ σε ΧΥΤΥ

Πίνακας 8.4: Ιδιότητες των ΑΣΑ που καταλήγουν στο ΧΥΤΥ

Απορρίμματα σε ΧΥΤΥ		
Ιδιότητες	Μονάδες	Τιμή
Υγρασία ΑΣΑ	%	36,48
Βιοαποδ. μέρος οργανικών ΑΣΑ		40,41
Ειδικό βάρος	kg /m <sup>3</sup>	
-Ασυμπίεστα	kg /m <sup>3</sup>	136,51
-Μερικώς συμπίεσμένα	kg /m <sup>3</sup>	481,16
-Καλά συμπίεσμένα	kg /m <sup>3</sup>	598,08
Α.Θ.Δ		
-Lloyd	MJ / kg	11,97
-Boye	MJ / kg	11,56
-Wilson	MJ / kg	11,38
-Modified Dulong	MJ / kg	11,06
-Exp	MJ / kg	10,73
-Meraz	MJ / kg	11,66
-Ghararah	MJ / kg	9,54
Κ.Θ.Δ		

-Lloyd	MJ / kg	9,89
-Boye	MJ / kg	9,48
-Wilson	MJ / kg	9,31
-Modified Dulong		9,89
-Exp	MJ / kg	8,65
-Meraz	MJ / kg	9,58
-Ghararah	MJ / kg	7,46

Στη συνέχεια γίνεται εκτίμηση της χημικής σύστασης της ποσότητας του βιοαερίου που μπορεί να παραχθεί από το οργανικό μέρος ΑΣΑ.

Πίνακας 8.5: Εκτίμηση χημικής σύστασης και ποσότητας του βιοαερίου

Methane.out		
Γρήγορα αποδομήσιμα οργανικά	Μονάδες	Τιμές
Ολικό ξηρό βάρος	kg	20,15
Χημικός τύπος		$C_{28}H_{45}O_{18}N$
Αντίδραση	συντελεστές	$C_{41}H_{66}O_{28}N + 8,5H_2O \rightarrow 14,75CH_4 + 13,25CO_2 + 1NH_3$
	moles	669      153      236      583      17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	9,92
Όγκος $CO_2$	$m^3$	8,88
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	0,93
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$	0,37
Αργά αποδομήσιμα οργανικά		
Ολικό ξηρό βάρος		12,67
Χημικός τύπος		$C_{14}H_{21}O_3N$
Αντίδραση	Συντελεστές	$C_{14}H_{21}O_3N + 8H_2O \rightarrow 8,5CH_4 + 5,5CO_2 + 1NH_3$
	moles	237      144      136      242      17
Όγκος $CH_4$	$m^3$	10,14
Όγκος $CO_2$	$m^3$	6,54
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$ ξ.β.	1,32
Θεωρητική ποσότητα βιοαερίου	$m^3/kg$	1,09

βιοαερίου

Ο χώρος που βρίσκονται οι εγκαταστάσεις φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Η κάτω λεκάνη θεωρείται πως θα χωριστεί σε δυο κελιά.

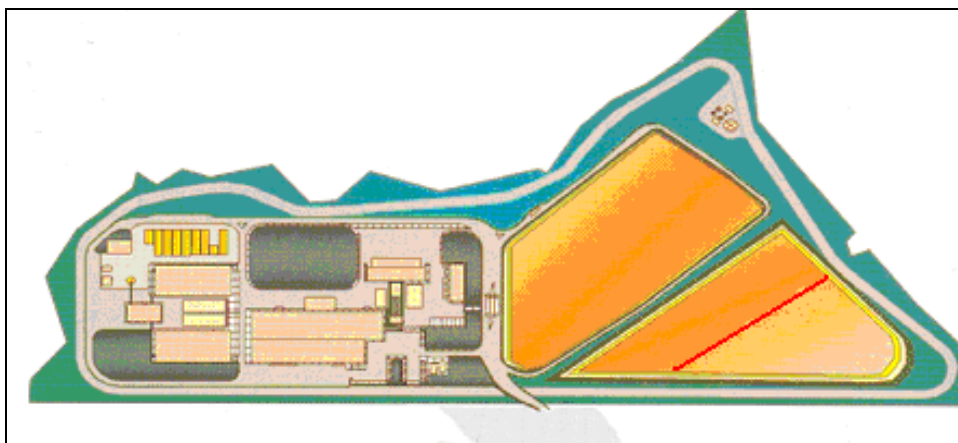
Γίνονται επιπλέον οι εξής θεωρήσεις η σύνθεση των ΑΣΑ θα παραμένει σταθερή για τα έτη λειτουργίας του χώρου και ίση με αυτή που δίδεται στον πίνακα. Οι δύο κυψέλες είναι του ίδιου μεγέθους, χωρητικότητας δηλαδή  $335.000\text{m}^3$  έκαστη.

Σε περίπτωση που υιοθετηθούν οι ποσότητες που δίνει η ΔΕΔΙΣΑ δηλαδή πως συλλέγονται ετησίως περί τους 70000tn και θωρηθεί μερική συμπύκνωση ΑΣΑ  $481\text{kg}/\text{m}^3 = 0,481\text{tn}/\text{m}^3$  (από το πρώτο αρχείο εξόδου) τότε ο όγκος των ΑΣΑ που φτάνει κάθε χρόνο στην εγκατάσταση διαχείριση είναι  $145530\text{m}^3$ .

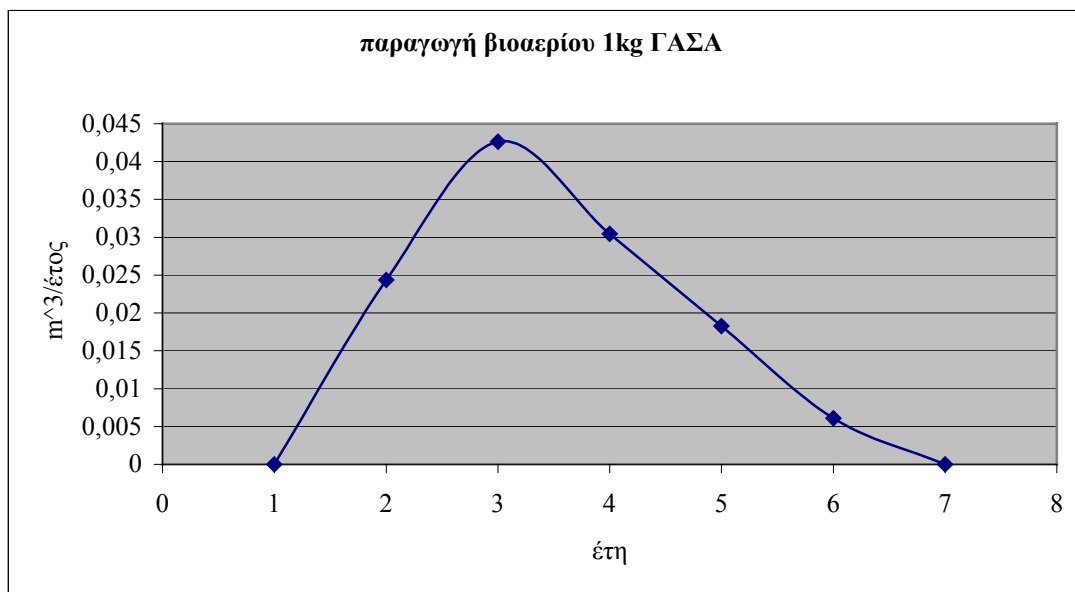
Καθώς η εγκατάσταση είναι ακόμα νέα είναι δύσκολο να λειτουργήσει απ' ευθείας με την αρχική εκτίμηση που έχει γίνει για 35% των ΑΣΑ να οδηγούνται τελικά στο ΧΥΤΥ. Θεωρείται πως τα πρώτα χρόνια λειτουργίας θα οδηγείται ετησίως στο ΧΥΤΥ το 60% των εισερχόμενων στην εγκατάσταση ΑΣΑ και στη συνέχεια θα επιτευχθεί ο στόχος και θα οδηγείται το 35%.

Αν θεωρηθεί λοιπόν πως η πρώτη κυψέλη θα δέχεται κατά μέσο όρο το 60% ετησίως των ΑΣΑ που φτάνουν στο χώρο τότε θα φτάνουν στο ΧΥΤΥ  $87.318\text{m}^3$  οπότε η κυψέλη θα πληρωθεί σε 4 περίπου έτη.

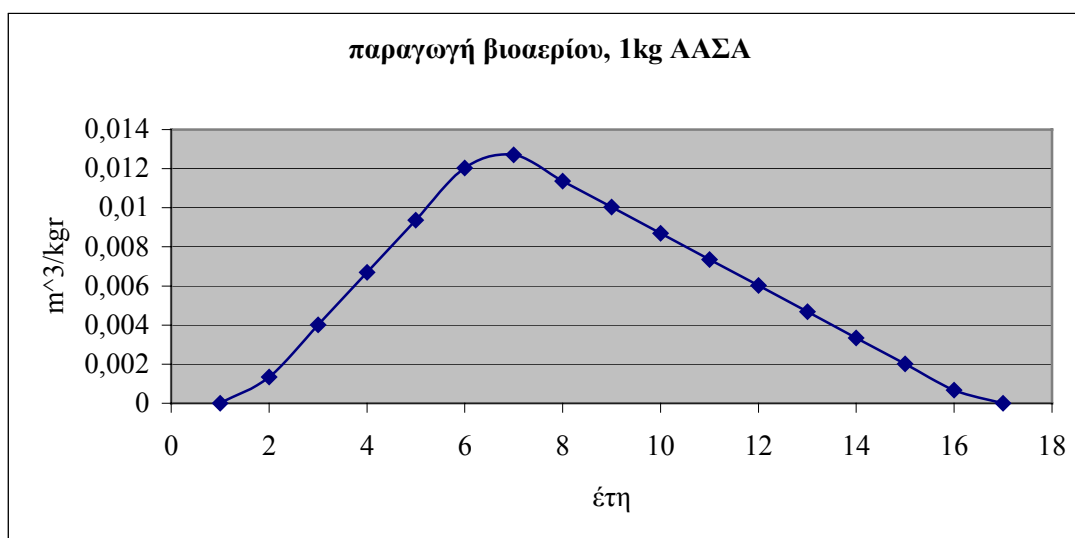
Αντίστοιχα αν η δεύτερη κυψέλη δέχεται κατά μέσο όρο το 35-40% ετησίως των ΑΣΑ τότε θα φτάνουν στο ΧΥΤΥ  $53.850\text{m}^3$  και θα πληρωθεί σε 6 περίπου έτη.



Εικόνα 8.19: Κάτω δεξιά λεκάνη, χωρισμένη σε δυο κώτταρα

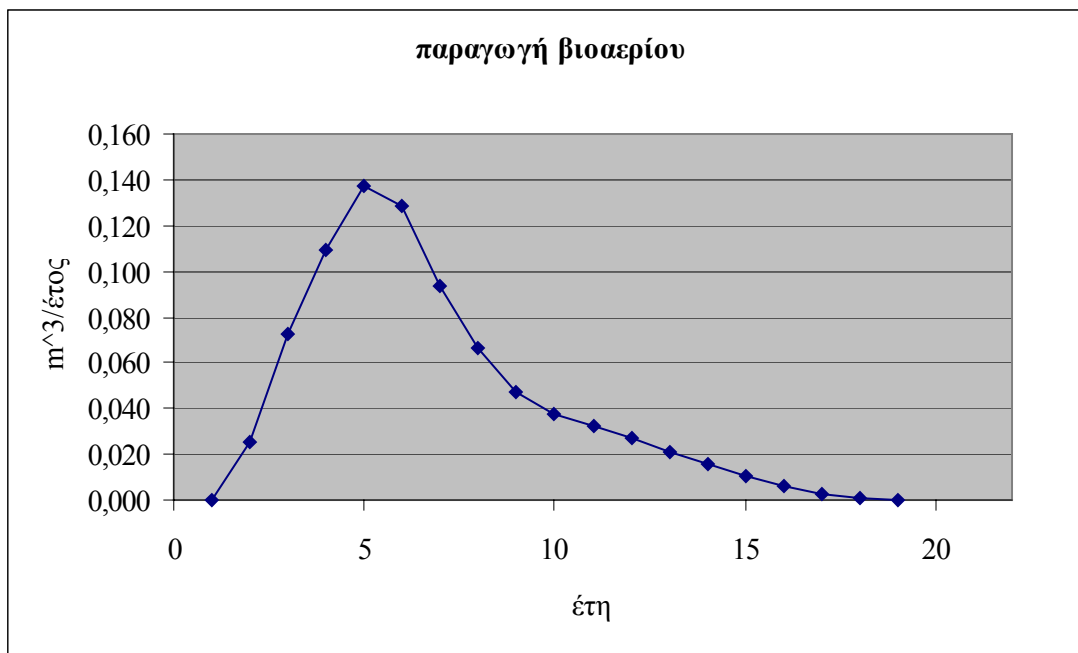


Εικόνα 8.20: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΓΑΣΑ

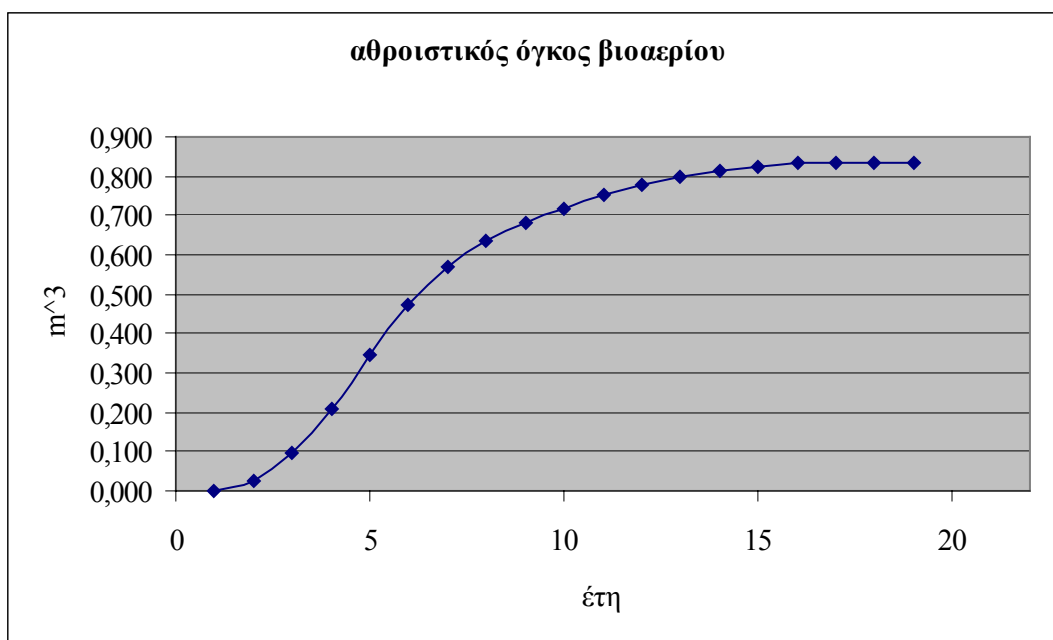


Εικόνα 8.21: Παραγωγή βιοαερίου από 1kg ΑΑΣΑ

Όσον αφορά το κύτταρο 1 όπως και στο κεφάλαιο 3 γίνεται ο υπολογισμός για το βιοαέριο θεωρώντας πως τοποθετείται κάθε έτος 1kg ΑΣΑ για να βρεθεί η ολική ποσότητα αλλά πολλαπλασιάζεται με την ποσότητα των απορριμμάτων που καταλήγουν στο χώρο απόθεσης.



Εικόνα 8.22: Συνολική παραγωγή βιοαερίου από την εναπόθεση 1kg ΑΣΑ ανά έτος



Εικόνα 8.23: Αθροιστική παραγωγή βιοαερίου από την εναπόθεση 1kg ΑΣΑ ανά έτος

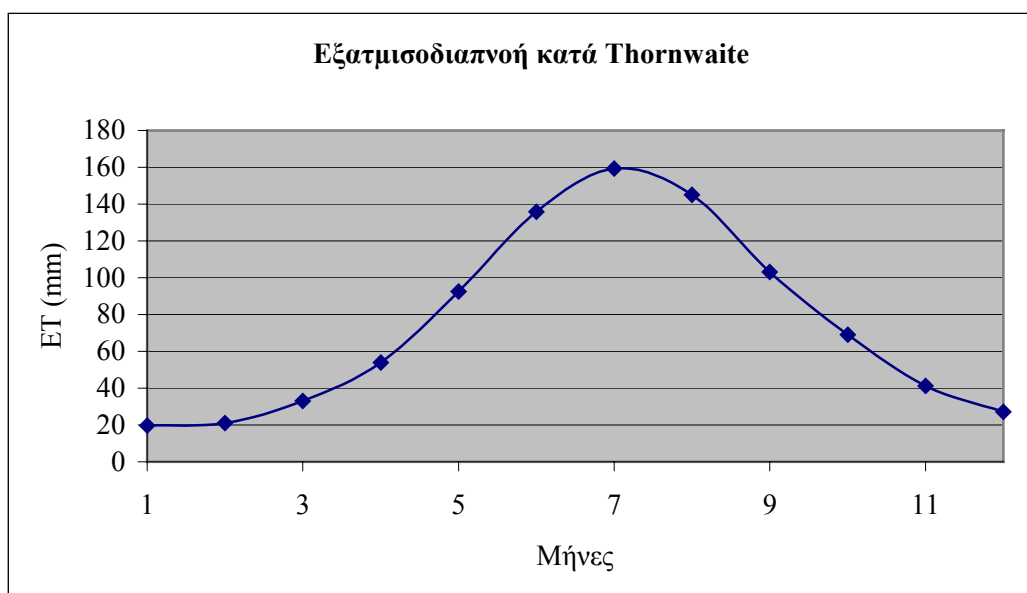
Η εξάτμιση υπολογίζεται μέσω της μεθόδου του Thornwaite. Στην εφαρμογή λαμβάνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές και τα ύψη βροχόπτωσης όπως αυτές δίνονται στην ΜΠΕ που εκπονήθηκε για το έργο.

Πίνακας 8.6: Μέση θερμοκρασία και ύψος βροχόπτωσης [65]

Μήνες	Μέση θερμοκρασία (°C)	Ύψος βροχόπτωσης (mm)
-------	-----------------------	-----------------------

Ιανουάριος	10,5	133,34
Φεβρουάριος	11	108,05
Μάρτιος	12,6	79,14
Απρίλιος	15,8	33,25
Μάιος	19,9	13,94
Ιούνιος	24,4	4,52
Ιούλιος	26,3	1,11
Αύγουστος	25,8	1,23
Σεπτέμβριος	23	15,8
Οκτώβριος	19,2	72,86
Νοέμβριος	15,6	72,76
Δεκέμβριος	12,6	94,2

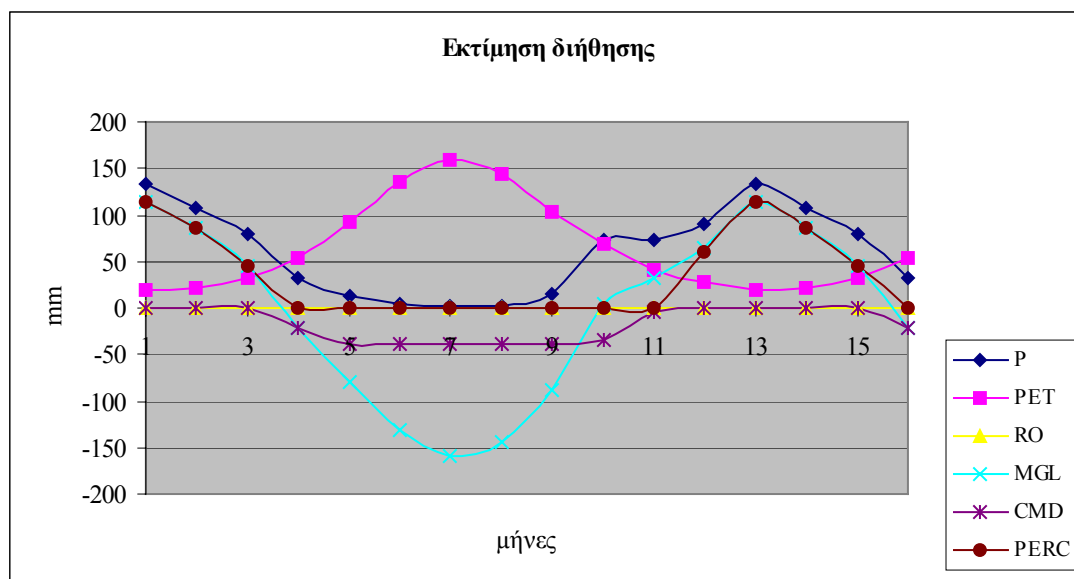
Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή που προκύπτει.



Εικόνα 8.24: Εκτίμηση PET κατά Thornwaite

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει την εκτίμηση της διήθησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΥ





Εικόνα 8.25: Εκτίμηση διήθησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΥ

Η διαδικασία είναι παρεμφερής με αυτή στο κεφάλαιο 4. Εδώ παρατίθεται η διαδικασία μόνο για μετά το πέρας της λειτουργίας του χώρου.

Η δυνητική αποθηκευτικότητα υγρασίας για το χώμα βάθους 50cm θα είναι:

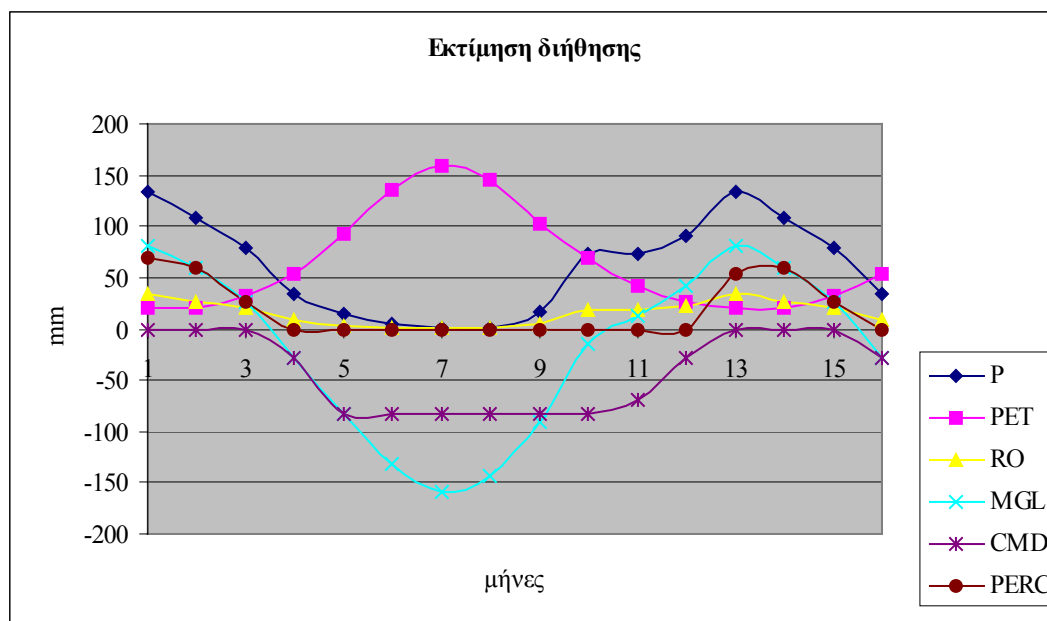
$$SM = (0,26 - 0,095) \cdot 500\text{mm} = 82\text{mm}$$

Παράλληλα, θεωρείται πως διαμορφώνονται κλίσεις με σκοπό την επιφανειακή απορροή μέρους του νερού από το χώρο απόθεσης, προς τις περιφερειακές αυλακώσεις. Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής θεωρείται ίσος με 0,25.

Πίνακας 8.7: Εκτίμηση διήθησης

Μήνας	Βροχόπ. (2)	PET (3)	Απορροή (4)	Υγρασία Προσθηκη Απώλεια (5)	Έλλειμμα υγρασίας εδαφικού υλικού (6)	Διήθηση (7)
Ιανουάριος	133,34	19,69	33,34	80,32	0	70,24
Φεβρουάριος	108,05	20,98	27,01	60,06	0	59,03
Μάρτιος	79,14	33,07	19,79	26,29	0,00	26,29
Απρίλιος	33,25	53,93	8,31	-28,99	-28,99	0,00
Μάιος	13,94	92,52	3,49	-82,07	-82	0,00
Ιούνιος	4,52	135,9	1,13	-132,51	-82	0,00
Ιούλιος	1,11	159,37	0,28	-158,54	-82	0,00
Αύγουστος	1,23	145,08	0,31	-144,16	-82	0,00
Σεπτέμβριος	15,8	103,07	3,95	-91,22	-82	0,00
Οκτώβριος	72,86	69,09	18,22	-14,45	-82,00	0,00

Νοέμβριος	72,76	41,23	18,19	13,34	-68,66	0,00
Δεκέμβριος	91,3	27,14	22,83	41,34	-27,33	0,00
Ιανουάριος	133,34	19,69	33,34	80,32	0,00	52,99
Φεβρουάριος	108,05	20,98	27,01	60,06	0,00	60,06
Μάρτιος	79,14	33,07	19,79	26,29	0,00	26,29
Απρίλιος	33,25	53,93	8,31	-28,99	-28,99	0,00



Εικόνα 8.26: Εκτίμηση διήθησης μετά τη λειτουργία του ΧΥΤΥ

Τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ είναι

- ειδικό βάρος: 481kg/m<sup>3</sup>
- αρχική υγρασία : 38,8% κ.β.

Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του κυττάρου

- αναλογία ΑΣΑ υλικό επικάλυψης: 5/1

για την πρώτο κύτταρο

- ύψος ταμπανιού: 4m για την
- αριθμός ταμπανιών: 4 (ένα ανά έτος)

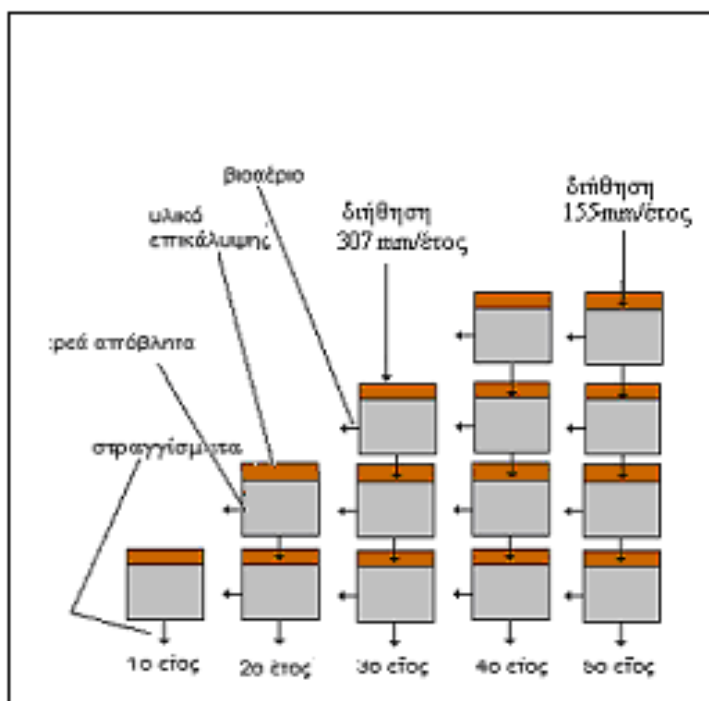
και για το δεύτερο κύτταρο

- ύψος ταμπανιού: 2,67m για την
- αριθμός ταμπανιών: 6 (ένα ανά έτος)

Τέλος έτους	Παραγωγή βιοαερίου m <sup>3</sup> /kg
1 <sup>ο</sup>	0
2 <sup>ο</sup>	0,0257

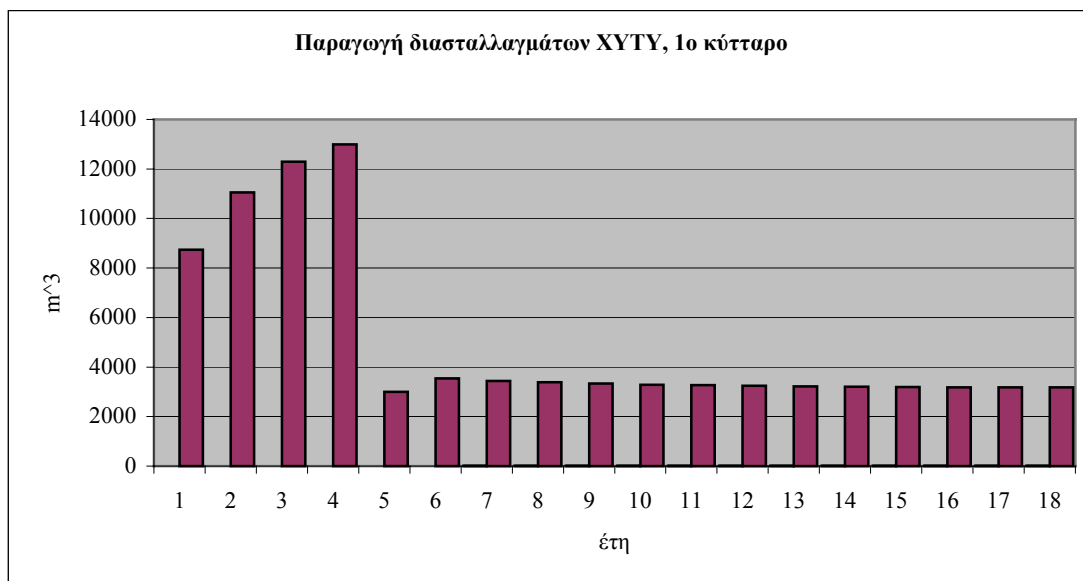
3 <sup>ου</sup>	0,04665
4 <sup>ου</sup>	0,03714
5 <sup>ου</sup>	0,02764
6 <sup>ου</sup>	0,01813
7 <sup>ου</sup>	0,01271
8 <sup>ου</sup>	0,01137
9 <sup>ου</sup>	0,01003
10 <sup>ου</sup>	0,0087
11 <sup>ου</sup>	0,00736
12 <sup>ου</sup>	0,00602
13 <sup>ου</sup>	0,00468
14 <sup>ου</sup>	0,00334
15 <sup>ου</sup>	0,00201
16 <sup>ου</sup>	0,00067
17 <sup>ου</sup>	0

Σχηματικά λοιπόν το κύτταρο 1 αναπαρίστανται στην εικόνα 8.27 και το κύτταρο 2 στην εικόνα 8.28.

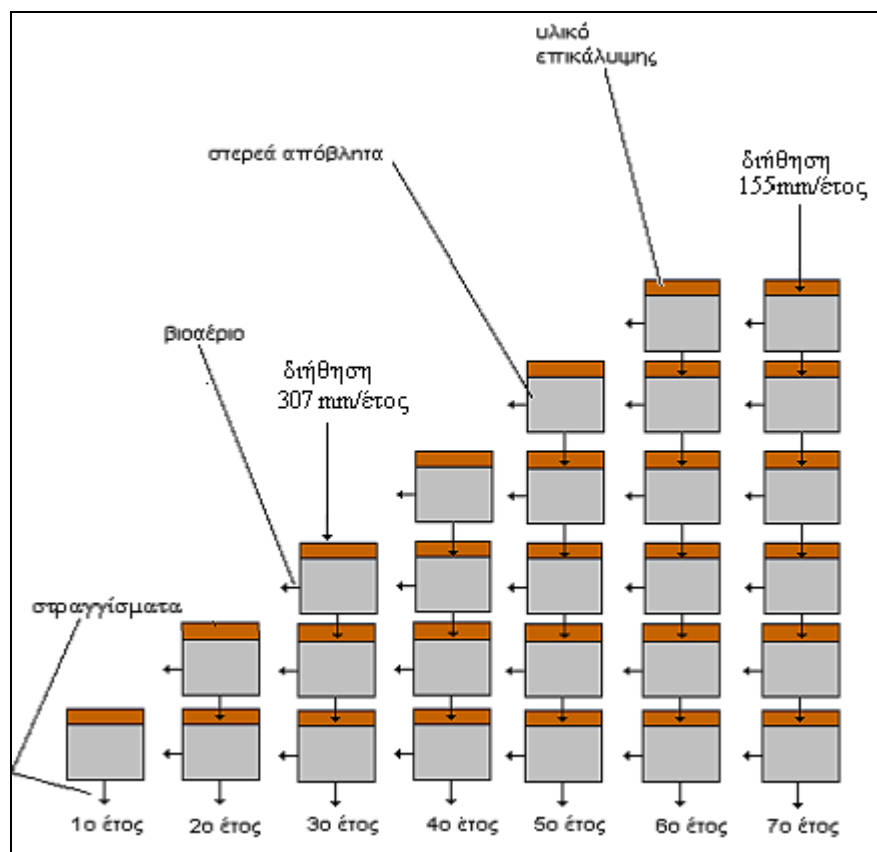


Εικόνα 8.29: Ταμπάνια πρώτου κυττάρου

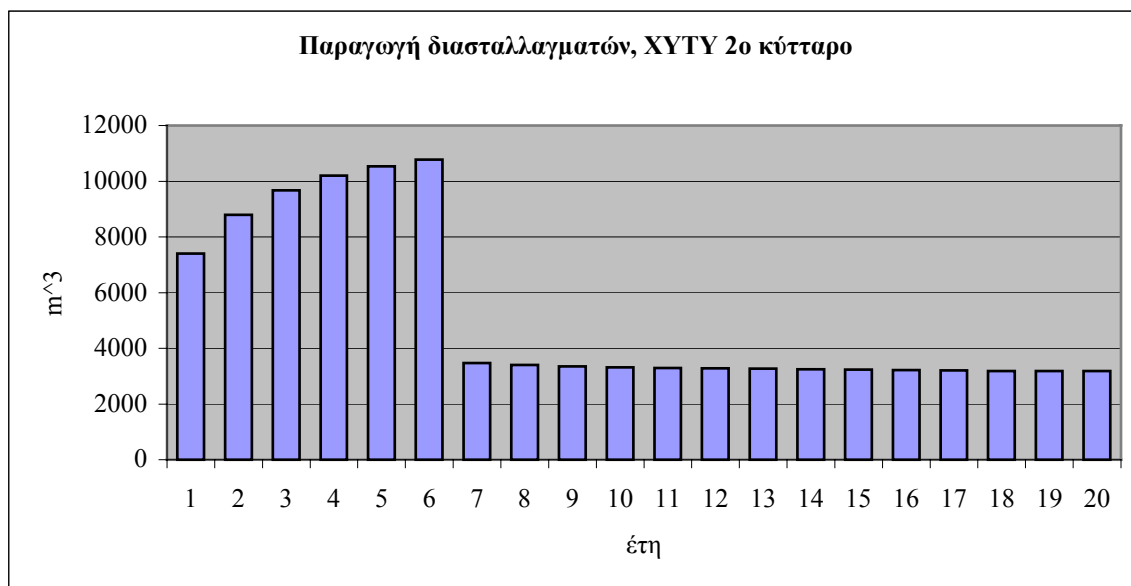
Με διαδικασία ανάλογη αυτής που ακολουθήθηκε στο κεφάλαιο 4 προσδιορίζεται η ποσότητα των διασταλλαγμάτων που προκύπτει.



Εικόνα 8.28: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων από το 1<sup>ο</sup> κύτταρο

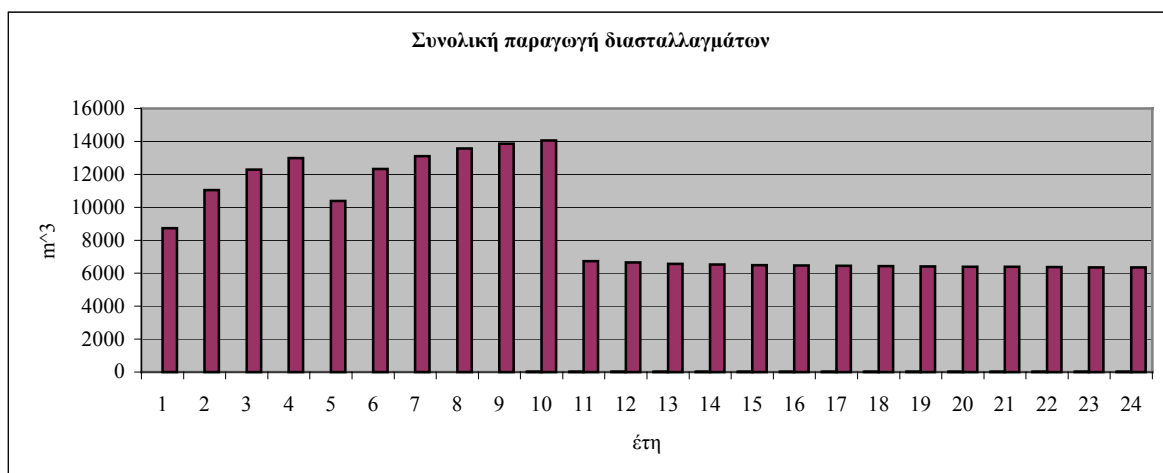


Εικόνα 8.29: Ταμπάνια δεύτερου κυττάρου



Εικόνα 8.30: Συνολική παραγωγή στραγγισμάτων από το 2<sup>ο</sup> κύτταρο

Συνολικά τα διασταλλάγματα που θα φτάνουν από όλη τη λεκάνη στο σύστημα για επεξεργασία απεικονίζονται στο επόμενο γράφημα.



Εικόνα 8.31: Συνολική παραγωγή διασταλλαγμάτων από τα κύτταρα 1 και 2

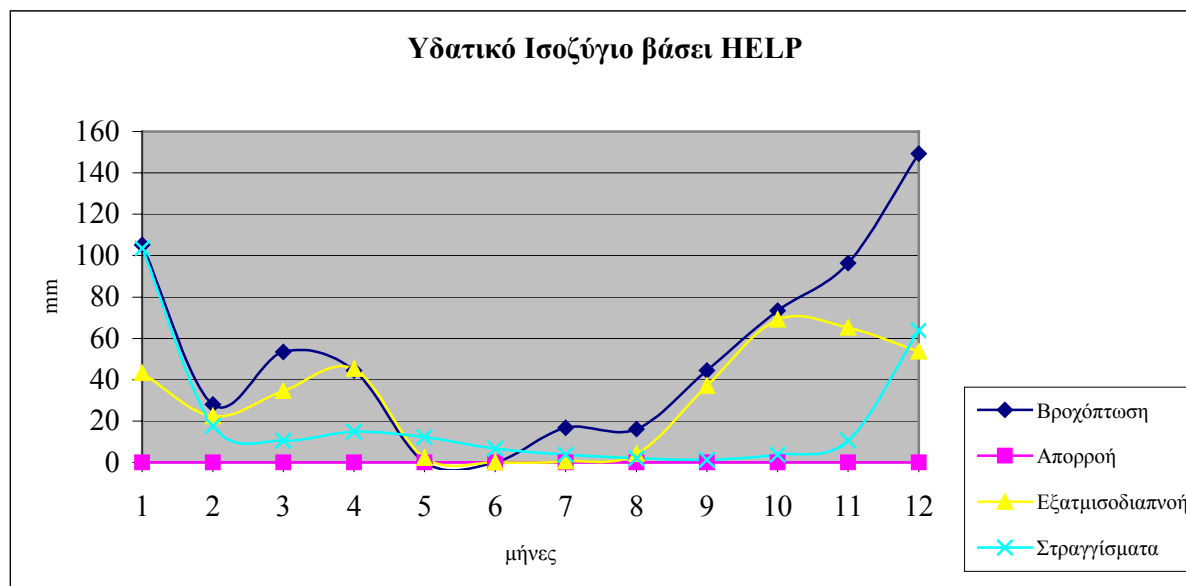
Προκειμένου να γίνει μια ενδεικτική σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν βάσει της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HELP το οποίο ‘έτρεξε’ για το πρώτο έτος της λειτουργίας του 2<sup>ου</sup> κυττάρου.

Το πρόγραμμα υποθέτει ροή για κάθετη διήθηση σε ομογενή και ομοιόμορφα εδάφη και ΑΣΑ. Δεν εξετάζεται η προτίμηση της ροής μέσω καναλιών και ρωγμών. Το πρόγραμμα τείνει να υπερεκτιμήσει την αποθήκευση του ύδατος κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους της προσομοίωσης και υπερεκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για τη παραγωγή στραγγισμάτων. Η επιρροή αυτού του περιορισμού μπορεί να

ελαχιστοποιηθεί ορίζοντας μεγαλύτερη τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας και μικρότερης υδατοχωρητικότητας.

Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής αποτελεσμάτων σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση. Στο παράρτημα Ι παρουσιάζεται το αρχείο εξόδου του μοντέλου (at.out)

Συνοπτικά τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα.



Εικόνα 8.32: Εξέλιξη υδατικού ισοζυγίου το 1<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας του κυτάρου

Τα στραγγίσματα που συλλέγονται στην αποστραγγιστική ζώνη είναι περίπου 250mm. Στην περίπτωση αυτή η υδατοχωρητικότητα τέθηκε ίση με 0,45 ενώ δεν ορίστηκε αρχική υγρασία των στρωμάτων καθώς αυτή προέκυψε για κατάσταση σταθερή (steady state) στο ΧΥΤΑ. Επιπλέον, η διαφορά στην υγρασία του εδάφους είναι μηδέν.

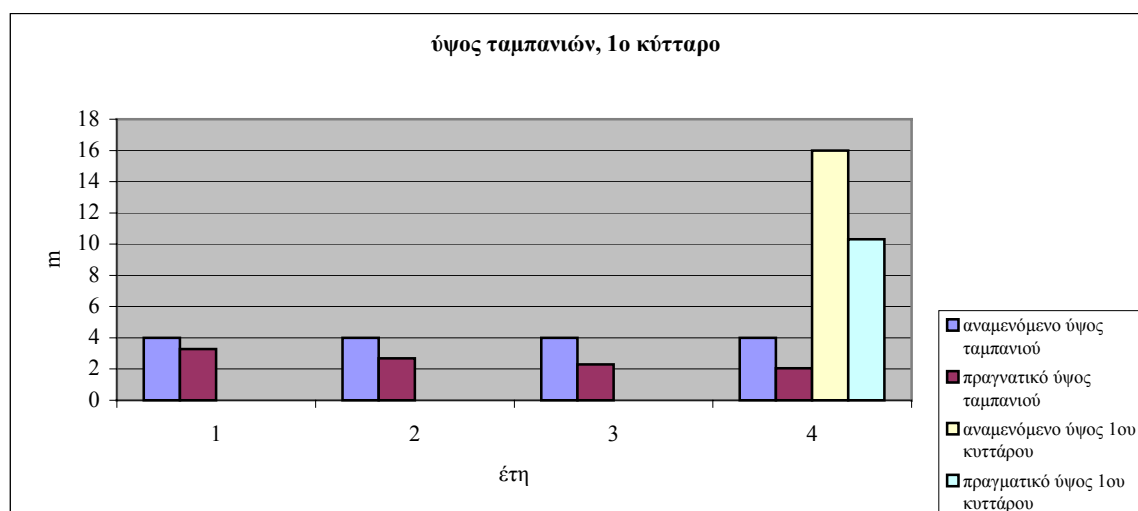
Στην περίπτωση ωστόσο που διατηρηθεί η υδατοχωρητικότητα που δίνει το μοντέλο βάση του επιλεγμένου τύπου ΑΣΑ (κατηγορία 18, [39] ) αλλά οριστεί αρχική υγρασία 38%, τότε η παραγωγή των διασταλλαγμάτων είναι μεγαλύτερη και φτάνει τα 436mm). Ωστόσο παρουσιάζεται έλλειμμα στην υγρασία των στρωμάτων αρκετά υψηλό. Έτσι στην περίπτωση που το μοντέλο τρέξει για παραπάνω έτη τα παραγόμενα στραγγίσματα πλησιάζουν αυτά της steady state ενώ μειώνεται το έλλειμμα της υγρασίας στο κύτταρο. Τα πιο πάνω διαπιστώνονται και από το διάγραμμα που ακολουθεί καθώς τα στραγγίσματα που παράγονται είναι σε μεγάλο ποσοστό τους δύο πρώτους μήνες ενώ επανέρχονται στα προηγούμενα επίπεδα τους επόμενους.



Εικόνα 8.33: Εξέλιξη υδατικού ισοζυγίου

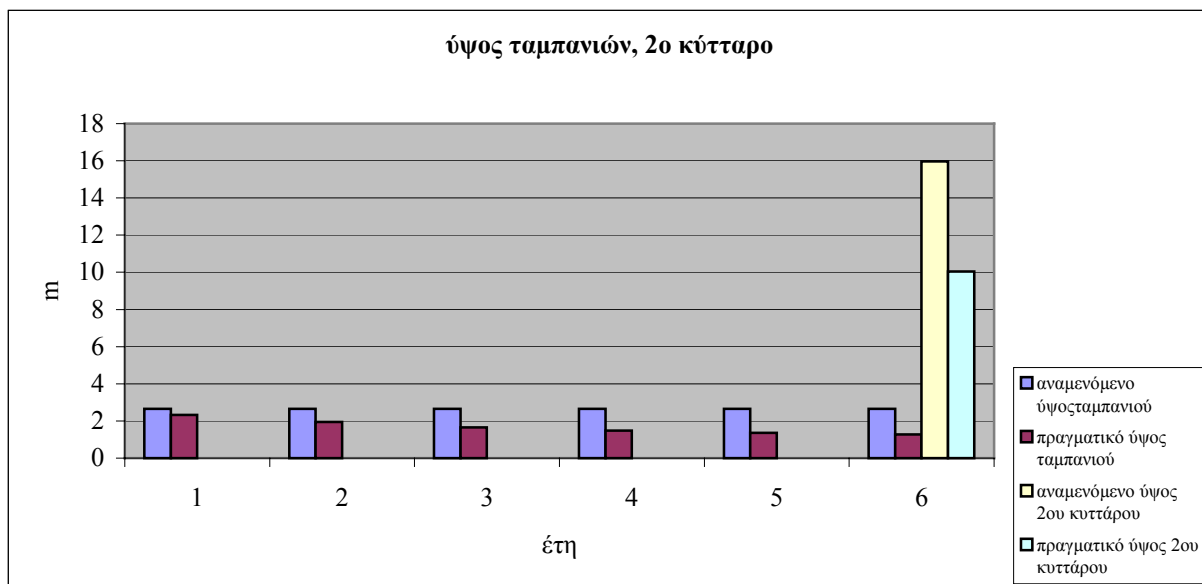
Η διαφορά στα αποτελέσματα των μεθόδων δικαιολογείται από το διαφορετικό τρόπο εκτίμησης της διήθησης στα ΑΣΑ. Στην 1<sup>η</sup> μεθοδολογία το ισοζύγιο γίνεται σε μηνιαίο επίπεδο και βάσει της δυνητικής εξάτμισης από την μέθοδο του Thornwaite, ενώ στο HELP το ισοζύγιο πραγματοποιείται σε ημερήσια βάση βάσει της δυνητικής εξάτμισης της μεθόδου του Penman. Υπενθυμίζεται πως οι δυο μέθοδοι που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 4 έδιναν σημαντικά διαφοροποιημένα αποτελέσματα. Επίσης, η πρώτη μεθοδολογία στηρίζεται κύρια στο βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων και στην εξέλιξη της υδατοχωρητικότητας. Στο HELP γίνεται υπολογισμών των στραγγισμάτων σε steady state με αποτέλεσμα το ύψος των ΑΣΑ και το βάρος αυτών να μην παίζει μεγάλο ρόλο.

Όσον αφορά την καθίζηση στο κύτταρο 1 στο τέλος του 5<sup>ου</sup> έτους τα ΑΣΑ θα φτάνουν σε ύψος τα 10,3m. Η απεικόνιση του κύτταρου 1 γίνεται στην εικόνα 8.34.



Εικόνα 8.34: Εξέλιξη ύψους ταμpanιών στο κύτταρο 1

Η καθίζηση είναι μεγαλύτερη στο δεύτερο κύτταρο και το εκτιμώμενο τελικό ύψος των ΑΣΑ στο τέλος του 8<sup>ου</sup> έτους είναι 9,91m.



Εικόνα 8.35: Εξέλιξη ύψους ταμπανιών στο κύτταρο 2



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά το σχεδιασμό ενός πλήρους συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πλήθος παραμέτρων. Σημαντικές παράμετροι είναι η ποσοτική και ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ. Στον ελλαδικό χώρο η μέση ποσοτική σύσταση των ΑΣΑ θεωρείται ίση με 1kgf/κατ./ημέρα ενώ στατιστικά παρατηρείται μια αύξηση τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα μια τιμή γύρω στα 1,2 kgf/κατ./ημέρα, να είναι πιθανώς πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Όσον αφορά τη σύστασή τους, τα ΑΣΑ στην Ελλάδα φαίνεται να διαφοροποιούνται σημαντικά από την μέση σύσταση των απορριμμάτων στην Ευρώπη. Το ποσό των τροφικών υπολειμμάτων (και ζυμώσιμων γενικότερα) καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ (49,5%) και ακολουθούν το χαρτί (22,5%) και το πλαστικό (9,5%). Το ποσοστό που δίνει η ΔΕΔΙΣΑ όσον αφορά τα τροφικά υπολείμματα, στο νομό Χανίων, είναι μεγαλύτερο, (55%) και μειωμένα τα ποσοστά χαρτιού και πλαστικού. Ωστόσο, σε πρόσφατη μελέτη για τη σύσταση των ΑΣΑ στην Κρήτη, το ποσοστό του χαρτιού και των πλαστικών ήταν μεγαλύτερο.

Η σύνθεση των ΑΣΑ αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιλογής οποιασδήποτε τεχνολογίας επεξεργασίας, και θα πρέπει να εξετάζεται ενδελεχώς, καθώς λανθασμένη επιλογή πιθανόν να έχει σαν αποτέλεσμα την προβληματική λειτουργία της τεχνολογίας, αλλά και τη δυσπιστία του κοινού προς τις τεχνικές διαχείρισης. Έτσι, τα ΑΣΑ που οδηγούνται στον υποθετικό ΧΥΤΑ έχουν υγρασία περίπου 38% ενώ η υγρασία αυτών που οδηγούνται στο ΧΥΤΥ είναι 44%. Η υγρασία αυτή θεωρείται αρκετά υψηλή, ενώ εποχιακά η υγρασία τους πιθανόν, να τα καθιστά ακατάλληλα για ορισμένες τεχνολογίες όπως η πυρόλυση.

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε ένα χώρο απόθεσης είναι αρκετά περίπλοκες ενώ ακόμα και σήμερα δεν έχουν γίνει πλήρως κατανοητές. Έτσι, η

παραγωγή βιοαερίου από τα απορρίμματα ποικίλει ανάλογα με την μεθοδολογία που ακολουθείται. Η παραγωγή του βιοαερίου βάσει των εξισώσεων που χρησιμοποιούνται από το 'Landgem' ανάλογα με το ρυθμό μεθανογένεσης δείχνει πως ένας χώρος απόθεσης μπορεί να παράγει σημαντικές ποσότητες βιοαερίου ακόμα και 80 έτη μετά την παύση της λειτουργίας του ενώ σε άλλες προσεγγίσεις θεωρείται πως υπάρχουν ΑΣΑ τα οποία αποδομούνται, γρήγορα μέσα σε 5 έτη αφότου αποθεθούν και κάποια τα οποία αποδομούνται αργά, δηλαδή 15 έτη μετά την απόθεσή τους.

Τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από ένα χώρο απόθεσης, αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα, ο προσδιορισμός τους ωστόσο είναι αρκετά ασαφής στην βιβλιογραφία. Ενδεικτικό είναι πως όσον αφορά π.χ. την εξάτμιση, σε ορισμένα κείμενα αναφέρεται πως θα είναι χαμηλή εξαιτίας των μεγάλων κενών, που δημιουργούνται στα ΑΣΑ και της ακόλουθης σημαντικής διήθησης, ενώ σε άλλα πως η εξάτμιση θα είναι σημαντική εξαιτίας της δυσκολίας του νερού να διηθηθεί καθώς συναντά υλικά όπως το πλαστικό, το μέταλλο και το γυαλί.

Τα διασταλλάγματα συνήθως προσδιορίζονται από ένα απλό ισοζύγιο ύδατος, του οποίου τα αποτελέσματα πιθανόν, να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Οι υπάρχουσες μεθοδολογίες προσομοιάζουν τα ΑΣΑ με ένα τύπο εδάφους με συγκεκριμένες ιδιότητες (υδραυλική αγωγιμότητα κλπ), ωστόσο η συμπεριφορά των απορριμμάτων διαφέρει σημαντικά από αυτή ενός εδάφους. Το γεγονός πως καθημερινά αλλάζει η επιφανειακή υγρασία του εδάφους εξαιτίας της προσθήκης νέων ΑΣΑ δεν φαίνεται να λαμβάνεται υπόψη, ενώ συνήθως οι υπολογισμοί αναφέρονται για το χρονικό διάστημα μετά το πέρας της λειτουργίας του χώρου οπότε και δεν αποτίθενται πλέον απορρίμματα ενώ υπάρχει και κάλυψη με εδαφικό υλικό τουλάχιστον 30cm στο οποίο και εφαρμόζεται το ισοζύγιο.

Ο τρόπος υπολογισμού των παραγόμενων στραγγισμάτων που έχει χρησιμοποιηθεί στην εργασία λαμβάνει υπόψη την υγρασία των ΑΣΑ και την υπερκείμενη πίεση που ασκείται σε αυτά εξαιτίας της συνεχούς προσθήκης νέων απορριμμάτων. Κατά την εφαρμογή στο ΧΥΤΥ Χανίων, προέκυψε πως η μέγιστη παραγωγή των στραγγισμάτων παρατηρείται κατά το τελευταίο έτος της λειτουργίας του, και θα είναι κατά μέσο όρο  $38\text{m}^3$ . Η δεξαμενή εξισορρόπησης που υπάρχει στο χώρο, έχει διαστασιολογηθεί για να μπορεί να συλλέξει μεγάλο όγκο διασταλλαγμάτων ( $1200\text{m}^3$ ), οπότε φαίνεται να είναι επαρκής, ακόμα και για εποχές με έντονη βροχόπτωση και ακόλουθη παραγωγή στραγγισμάτων. Το αποτέλεσμα που έχει προκύψει δεν μπορεί να συγκριθεί με πραγματικά δεδομένα καθώς οι συνθήκες, σε παρόμοια σε διαστάσεις, λεκάνη που έχει ήδη πληρωθεί έχει σημαντικές ιδιαιτερότητες, όπως ο σημαντικός όγκος των δεματοποιημένων απορριμμάτων τα οποία δεν παράγουν υγρά μετά την απόθεσή τους στο χώρο.

Ωστόσο, στην τεχνική μελέτη που είχε πραγματοποιηθεί, φαίνεται η μέγιστη αναμενόμενη ποσότητα διασταλλαγμάτων να είναι περίπου  $50\text{m}^3$  την ημέρα.

Το ειδικό βάρος και η περιεχόμενη υγρασία των ΑΣΑ, η επίτευξη παραγωγής της μέγιστης δυνατής παραγωγής βιοαερίου από τα ΑΣΑ αλλά και ο τρόπος συμπίεσης των ΑΣΑ, σχετίζεται άμεσα και με το χρόνο ζωής του χώρου απόθεσης. Στην περίπτωση του υποθετικού ΧΥΤΑ φαίνεται πως 7 έτη μετά τη λειτουργία του το ύψος του κυττάρου είναι περίπου στα  $2/3$  του αρχικά αναμενόμενου.

Η δυσκολία στην πλήρη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των ΑΣΑ και ιδιαίτερα όταν αυτά αποτίθενται σε ένα ανοικτό χώρο όπου οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητές τους, έχει σαν αποτέλεσμα, συχνά, η πραγματικότητα να απέχει αρκετά από την μελέτη. Έτσι ακόμα και ο όγκος της λεκάνης απόθεσης των ΑΣΑ και η διάρκεια ζωής αυτής μπορεί λόγω δυσκολίας εκτίμησης των διεργασιών που εκτελούνται σε ένα ΧΥΤΑ, να αποκλίνει σημαντικά από το τελικό αποτέλεσμα. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στην ΜΠΕ για το ΧΥΤΑ Χανίων ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής της λεκάνης ήταν 17 έτη ενώ τελικά ο χώρος, συνεκτιμώντας και τα δεματοποιημένα, πληρώθηκε σε περίπου 6 έτη.

Το σύστημα συλλογής των διασταλλαγμάτων θα πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο ώστε τα τελευταία να μπορούν να ρέουν χωρίς δυσκολία προς τους αγωγούς συλλογής. Φαίνεται πως στην περίπτωση που ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας της αποστραγγιστικής ζώνης λάβει τιμή παρόμοια με αυτή των απορριμμάτων διαπιστώνεται φράξιμο της ζώνης ενώ το φράξιμο γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό όταν η υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης αποστράγγισης γίνει κατά μια τάξη μεγέθους χαμηλότερη από αυτή των ΑΣΑ ( $K_s=10^{-6}\text{m/sec}$ ).

Όσον αφορά την επιλογή του συστήματος ανάκτησης ενέργειας από τα απορρίμματα, οι τεχνολογίες δεν είναι αρκετά διαδεδομένες, ενώ στην Ελλάδα δεν υπάρχει μονάδα θερμικής επεξεργασίας.

Το γεγονός ότι οι μονάδες αυτές έχουν σχεδιασθεί και δοκιμασθεί για απορρίμματα βορειοευρωπαϊκών χωρών ή αντίστοιχων των ΗΠΑ, με τελείως διαφορετική σύνθεση, υγρασία και θερμογόνο δύναμη από τα απορρίμματα στον ελλαδικό χώρο, οδηγεί συνήθως σε μεγάλη επιφυλακτικότητα για την αποτελεσματικότητα των μονάδων σε συνθήκες της χώρας μας. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στην τεχνολογία της πυρόλυσης η περιεκτικότητα σε νερό, της πρώτης ύλης, πρέπει να είναι μικρότερη από 40%.

Η πολυπλοκότητα των μονάδων αυτών σε συνδυασμό με την πάντα απρόβλεπτη συμπεριφορά των απορριμμάτων κατά την όποια επεξεργασία τους, είναι αποδεδειγμένο ότι οδηγούν σε συχνές βλάβες με μεγάλα έξοδα αποκατάστασης, αλλά και σε αδυναμία των μονάδων αυτών να υποδέχονται απορρίμματα κατά την περίοδο αποκατάστασης των όποιων βλαβών.

Η ανάκτηση ενέργειας από αυτές τις μονάδες, πιθανόν να είναι μηδαμινή καθώς στις πλείστες των περιπτώσεων ο βασικός στόχος που επιτυγχάνεται είναι η μεγάλη μείωση του όγκου των απορριμμάτων προς διάθεση.

Σύμφωνα με την [67], οι μονάδες αυτές απαιτούν ποσότητες απορριμμάτων τουλάχιστον μιας Ελληνικής Περιφέρειας, για να λειτουργήσουν με οικονομικά ανεκτό τρόπο.

Από την άλλη βέβαια και η ανάκτηση ενέργειας από το ΧΥΤΑ (μέσω της συλλογής του βιοαερίου) είναι αμφισβητήσιμη καθώς οι αγωγοί συλλογής του βιοαερίου δύσκολα τοποθετούνται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του χώρου. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετά χαμηλά ποσοστά συλλογής βιοαερίου από χώρους που λειτουργούν (ακόμα και 35%) ακόμα και όταν αυτοί είναι καλά οργανωμένοι.

Οι επιλεγόμενες λύσεις οφείλουν να είναι ρεαλιστικές και εφαρμόσιμες, χωρίς υπερβολικό κόστος, ώστε να προκύπτει συνολικά περιβαλλοντικά φιλική και συνεπώς ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παναγιωτακόπουλος Δ., 'Βιώσιμη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων', Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ, 2002
2. Μανιός Θ., 'Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων', Πολυτεχνείο Κρήτης, 2001
3. ΦΕΚ723/2000, 'Συμπλήρωση και εξειδίκευση της υπ' αριθ. 113944/1944/1997 κοινής Υπουργικής Απόφασης με θέμα: Εθνικός Σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης στερεών αποβλήτων)'
4. Παπαδημητρίου Χ., 'Σχεδιασμός συστήματος ανακύκλωσης στο χώρο του ολυμπιακού χωριού', ΔΙΠ 1318, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2004
5. Shanks 'The Intelligent, Transfer Station A method for the treatment of Municipal Solid Waste, Sistema Ecodeco', <http://www.shanks.co.uk/shanks/uploads/services/inteltrans/Ecodecoleaflet2.pdf>, Ημερομηνία εισόδου: 20/11/05
6. Σκορδίλης Α., 'Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων', Εκδόσεις ΙΩΝ, 2001
7. Σκορδίλης Α., 'Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF', Εκδόσεις Κόσμος, 1997
8. Οικονομόπουλος Α., Οικονομόπουλος Π., 'Τεχνολογίες Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων', Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, 1999
9. Peter M., 'Leachate Collection Systems: The Achilles' Heel of Landfills' Rachel's Environment & Health News, No 119 March 7, 1989
10. ΦΕΚ 1016/1997, 'Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων, (γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων)'
11. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., 'Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management issues' Mc Graw Hill, 1993
12. Yuen S.T.S., Wang Q.,J. Styles, McMahan, 'Water Balance comparison between a dry and a wet landfill- a full scale experiment' Journal of hydrology 251, pp.29-48, 2001

13. Ντζαμίλης Π., Χάβας Γ., 'Ποιοτική και Ποσοτική Ανάλυση Απορριμμάτων Περιφέρειας Κρήτης', Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2004
14. Rajendra D.V., 'Solid Waste Degradation, Compaction and Water Holding Capacity', Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002
15. Blight G., Hojem D., Ball J., 'Production of landfill leachate in water deficient areas', Landfilling of waste leachate, E& FN Spon, 1996
16. Datta M., 'Waste Disposal in Engineered Landfills', Narosa, 1997
17. Rhyner C., Schwartz L., Wenger R., Kohrell M., 'Waste management and resource recovery', Lewis Publishers, 1995
18. Themelis N.J, 'Integrated management of solid wastes for New York city', pp. 69-86, American Society of Mechanical Engineers Proceedings of NAWTEC, 2002
19. Meraz L., Oropeza M., Dominguez A., 'Prediction of the Combustion Enthalpy of Municipal Solid Waste', pp.66-70, No7 Chem. Educator, 2002
20. Staff of the World Bank, 'Municipal Solid Waste Incineration', World Bank Technical Guidance Report , 1999
21. Khan M., Abu-Ghararah Z., 'New approaches for estimating energy content of municipal solid waste', pp.376-380, Journal of Environmental Engineering, vol 117, No 3, May/June, 1991
22. Cooper C.D., Kim B., MacDonald J., 'Estimating the Lower Heating Values of Hazardous and Solid Wastes', pp. 471-476, Journal of Air & Waste Manage. Assoc. 49, 1999
23. Themelis N.J., Young H.K., Mark H.B., 'Energy recovery from New York City solid wastes' pp. 223-233, ISWA journal: Waste Management and Research, No20, 2002
24. Καρτεράκης Σ., Γιδαράκος Ε., 'Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου διαχείρισης αστικών στερεών απορριμμάτων' Heleco '05, TEE , Αθήνα 2005
25. US Army Corps of Engineers, 'Landfill off-gas collection and treatment systems', 1995
26. U.S. E.P.A., 'User's Manual, Landfill Gas Emissions Model, Version, 2.0'. 1998
27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 'Revised IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', Vol. 2 – 3, 1996

28. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 'Good Practice Guidance and Uncertainty management in Greenhouse Gas Inventories', 2000
29. Γενειατάκης Μ., 'In-situ μετρήσεις βιοαερίου και εκτίμηση ανεξέλεγκτων εκπομπών CH<sub>4</sub> στο χώρο διάθεσης απορριμμάτων (ΧΔΑ) Πέρα Γαληνών Ηρακλείου', Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2004
30. ΦΕΚ 1572/2002, 'Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων'
31. Tatsi A., Zouboulis I., 'A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki Greece)', 270-219pp, Advances in Environmental Research, 2002
32. Quasim R., Chiang W., 'Sanitary Landfill Leachate, Generation, control, treatment', Technomic Publishing Co, 1994
33. Τσουκαλά Β., 'Σημειώσεις στο μάθημα Τεχνική Υδρολογία', Πολυτεχνείο Κρήτης, 2003
34. Ventura F., Spano D., Duce P., Snyder L., 'An evaluation of common evapotranspiration equations', Irrig Sci No18: pp163-170, 1999
35. Christensen T., Cossu R., Stegman R., 'Sanitary landfilling: Process, Tecnology and Environmental Impact', Academic Press, 1989
36. Safari E., Baronian C., 'Modelling Temporal Variations in Leachate Quantity Generated at Kahrizak Landfill' pp.482-487, iEMSs, 2002
37. Blakey N., 'Model Prediction of landfill Leachate Production', Landfilling of waste: leachate, Christensen, Cossu, Stegman, E&FN Spon, 1996
38. www.shodor.org, Ημερομηνία εισόδου: 11/09/05
39. Shroeder P., Lloyd M., Zappi P., U.S.EPA, The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance Model, user's guide for version 3
40. Ghammas A Guy, Geddis, McCaulou R. Douglas 'A comparison of two models for simulating the water balance of soil covers under semi-arid conditions', National meeting of the American Society for surface mining and reclamation, Scottsdale, Arizona, August 13-19, 1999
41. Hauser V., Gimon D., 'Evaluating Evapotranspiration Landfill cover performance Using Hydrological Models Victor', Air Force center for environmental excellence, 2004
42. Ghada E., 'Using Help model for designing geocomposite drainage systems in landfills' Tenax Corporation USA, 1999

43. Shroeder P., Lloyd C.M., Zappi P., U.S.EPA, The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance Model, Engineering documentation for version 3
44. Amy A. 'Example Moisture Mass Balance Calculations for Bioreactor Landfills' U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards Information Transfer and Program Integration Division Research Triangle Park, December 2003
45. Rushbrook P., Pugh M., 'Solid Waste Landfills in Middle and Lower-income Countries : A Technical Guide to Planning, Design, and Operation', Washington, DC World Bank, 1999
46. Blight G., Hojem D., Ball J., 'Production of landfill leachate in water deficient areas', Landfilling of waste leachate, E& FN Spon, 1996
47. Thandaveswara B.S., Sivakumar D. 'Moisture Distribution Through Solid Waste Landfills, pp. 63-69, IE(I) Journal-EN, Vol 84, March 2004
48. Bowders J., Bouazza M., Loehr E., Russell M, 'Settlement of Municipal Solid Waste Landfills' 4<sup>th</sup> Kansai Int'l Geotechnical Forum, IAS, Kyoto, Japan, 2000
49. Wall D.K., Zeiss C., 'Municipal landfill biodegradation and settlement', pp. 214-224, Journal of Env. Engng., ASCE, Vol. 121, No3,1995
50. www.wm.com, 'Typical Anatomy of landfill Waste management', 2003, Ημερομηνία εισόδου: 10/09/05
51. Cossu R., Lavagnolo M.C. 'Leachate Drainage Systems: An Overview', Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy; 4-8 October 1999
52. Otieno F., Reddy N., 'Aspects of design of a sanitary Landfill site for the urban Metropolitan area' Proceedings Sardinia 99, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy; 4-8 October 1999
53. David E. Daniel, 'Geotechnical Practice for waste disposal', Chapman & Hall, 1995
54. Rowe K., Quigley R., Booker J., 'Clayey Barrier systems for waste disposal facilities', E&FN Spon, 1998
55. Augenstein D., Yazdani R, Benemann J., 'Engineered Landfills Versus In-Vessel Processes For Anaerobic Composting', Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Italy; 3-7 October 2005
56. www.greenhouse.gov.au/challenge/methane/mwbquickref.html#2, Ημερομηνία εισόδου: 09/11/05



57. Φελεσκούρα Χ., Παπαϊωάννου Ε., ‘Σύγχρονες Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Απορριμμάτων - Διαχείριση και Ενεργειακή Αξιοποίησης Απορριμμάτων’, ΤΕΙ Χαλκίδας, Σχολή τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρολογίας, 2004
58. Kai Sipilä, ‘Municipal and commercial solid waste for pyrolysis and gasification markets’, VTT Processes, Finland 2002
59. Γιαννόπουλος Δ., Βουδριάς Ε., Αϊβαζίδης ‘Αναερόβια επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων: εξέλιξη και προοπτικές’ Heleco’05, ΤΕΕ, Αθήνα 2005
60. Themelis N.J, Verma, ‘Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes’ Columbia University, 2002
61. Braber K., ‘Anaerobic digestion of municipal solid waste: A modern waste disposal option on the verge of breakthrough’, pp365-376, Biomass and Bioenergy, Vol 9, Nos 1-5, 1995
62. Baere L. ‘Anaerobic digestion of solid waste: State of the art’, pp.283-290, Water science and technology, vol41 No3, 2000
63. <http://www.agis-net.gr/F02/emak.htm>, Ημερομηνία εισόδου: 20/09/05
64. Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, ‘Ενημερωτικό φυλλάδιο’, 2005
65. Διαμαντόπουλος Ε., Ζαχαράκη Α., Καραμπατσάκης Η., Κλωνιζάκη Α, ‘Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση Κορακιά νοτίως της χαράδρας του Κουρουπητού Ακρωτηρίου Χανίων’, 2000
66. ENVITEC Α.Ε., ‘Τεχνική Περιγραφή–Τεχνικές προδιαγραφές, Μονάδας Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης και Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στη θέση Κορακιά’, 2002
67. Βαλακώστα Μ., Τραγανίτη Σ., Αραβόση Κ., Κούγκολο Α., ‘Η εμπειρία του δήμου Λαρισαίων στην ορθολογική διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων μελλοντικές προοπτικές και προβληματισμοί’, Υπηρεσία Καθαριότητας Περιβάλλοντος Δήμου Λαρισαίων, 2002

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΧΥΤΑ

#### msw.dat

49.5  
22.5  
9.6  
2.0  
1.2  
1.2  
4.5  
5  
2.5  
2

### ΧΥΤΥ

#### properties.out

```
*****
TOTAL MOISTURE CONTENT, %
*****
38.781

*****
BIODEGRADABLE OFMSW, %
*****
53.280

*****
SPECIFIC WEIGHT (KG/M^3)
*****

UNCOMPACTED WASTE
126.605
NORMAL COMPACTED WASTE
465.296
WELL COMPACTED WASTE
576.356

*****
HHV, MJ/KG    KCAL/KG
*****
LLOYD
    11.51    2749.83

BOYE
    11.02    2631.32

WILSON
    10.66    2547.29

MODIFIED DULONG
    10.29    2457.36

LIU TAIWAN
```

```
13.56 3239.47
EXPERIMENTAL ENTHALPY
10.61 2534.69
MERAZ
11.16 2665.52
GHARARARH
11.00 2627.50
*****
LHV, MJ/KG KCAL/KG
*****
LLOYD
9.23 2203.44
BOYE
8.73 2084.93
WILSON
8.38 2000.90
MODIFIED DULONG
9.23 2203.44
LIU TAIWAN
11.28 2693.08
EXPERIMENTAL ENTHALPY
8.32 1988.30
```

**XYTY**

**msh.dat**

```
59.2
15.5
9.7
2.4
1.5
1.5
3.8
2
3.0
2.4
```

**XYTY**

**properties.out**

```
*****
TOTAL MOISTURE CONTENT, %
*****
44.367
*****
BIODEGRADABLE OFMSW, %
*****
58.022
*****
SPECIFIC WEIGHT (KG/M^3)
*****
```

UNCOMPACTED WASTE

140.969

NORMAL COMPACTED WASTE

499.701

WELL COMPACTED WASTE

603.907

\*\*\*\*\*

HHV, MJ/KG KCAL/KG

\*\*\*\*\*

LLOYD

11.31 2702.08

BOYE

10.85 2590.96

WILSON

10.54 2517.27

MODIFIED DULONG

10.18 2432.39

LIU TAIWAN

13.61 3251.73

EXPERIMENTAL ENTHALPY

10.34 2469.05

MERAZ

11.09 2649.96

G HARARARH

10.32 2465.00

HAWF

18.76 4480.13

\*\*\*\*\*

LHV, MJ/KG KCAL/KG

\*\*\*\*\*

LLOYD

8.79 2100.27

BOYE

8.33 1989.16

WILSON

8.02 1915.46

MODIFIED DULONG

8.79 2100.27

LIU TAIWAN

11.09 2649.93

EXPERIMENTAL ENTHALPY

7.82 1867.25

MERAZ

8.58 2048.16

G HARARARH

7.80 1863.19

HAWF

8.79 2100.63

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΧΥΤΑ

##### msw.dat

49.5  
22.5  
9.6  
2.0  
1.2  
1.2  
4.5  
5  
2.5  
2

#### ΧΥΤΑ

##### methane.out

```
*****  
RAPIDLY DECOMPOSABLE  
*****  
TOTAL WEIGHT, KG  
73.20  
TOTAL DRY WEIGHT, KG  
36.48  
  
"CHEMICAL FORMULA"  
C H O N  
41 66 28 1  
  
"FACTORS"  
H2O CH4 CO2 NH3  
11.250 21.375 19.625 1.000  
  
"MOLES"  
CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3  
1006. 202.5 342. 863.5 17.  
  
VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED, M^3  
17.30 15.84  
  
THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG D.W.  
0.91  
THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M^3/KG  
0.45  
  
*****  
SLOWLY DECOMPOSABLE  
*****  
TOTAL WEIGHT, KG  
5.20  
TOTAL DRY WEIGHT, KG  
4.28  
  
"CHEMICAL FORMULA"  
C H O N  
14 21 3 1  
  
"FACTORS"  
H2O CH4 CO2 NH3
```

8.000 8.500 5.500 1.000

"MOLES"

CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3  
237. 144. 136. 242. 17.

VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED, M<sup>3</sup>  
3.43 2.21

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG D.W.  
1.32

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG  
1.08

### **XYTA**

#### **msw.dat**

59.2  
15.5  
9.7  
2.4  
1.5  
1.5  
3.8  
2  
3.0  
2.4

### **XYTA**

#### **methane.out**

\*\*\*\*\*

RAPIDLY DECOMPOSABLE

\*\*\*\*\*

TOTAL WEIGHT, KG

76.14

TOTAL DRY WEIGHT, KG

32.91

"CHEMICAL FORMULA"

C H O N

33 53 22 1

"FACTORS"

H2O CH4 CO2 NH3

9.500 17.250 15.750 1.000

"MOLES"

CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3  
801. 171. 276. 693. 17.

VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED, M<sup>3</sup>  
15.82 14.40

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG D.W.  
0.92

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG  
0.40

\*\*\*\*\*

SLOWLY DECOMPOSABLE  
\*\*\*\*\*

TOTAL WEIGHT, KG  
6.36

TOTAL DRY WEIGHT, KG  
5.24

"CHEMICAL FORMULA"

C H O N  
14 21 3 1

"FACTORS"

H2O CH4 CO2 NH3  
8.000 8.500 5.500 1.000

"MOLES"

CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3  
237. 144. 136. 242. 17.

VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED, M<sup>3</sup>  
4.20 2.71

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG D.W.  
1.32

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG  
1.09

**volume.dat**

10  
1  
70000  
0.05  
81  
1  
465  
499  
1200  
350

**volume.out**

```

*****
XYTA
*****
MSW/YEAR, KG
24800000.00    26039998.00    27279998.00    28519996.00
29759996.00    30999994.00    32239992.00    33479992.00
34719992.00    35959988.00
MSW&COVER SOIL/YEAR, M^3
57466.66      60340.00      63213.33      66086.66      68959.99
71833.32      74706.64      77579.98      80453.31      83326.63
CUMULATIVE VOLUME, M^3
57466.66      117806.66     181019.98     247106.64     316066.63
387899.94     462606.56     540186.56     620639.88     703966.50

*****
XYTY
*****
MSW/YEAR, KG
20088000.00    20831998.00    21551200.00    22245598.00
22915198.00    23559996.00    24179996.00    24775196.00
25345596.00    25891194.00
MSW&COVER SOIL/YEAR, M^3
43604.51      45219.49      46780.64      48287.95      49741.44
51141.09      52486.91      53778.89      55017.04      56201.36
CUMULATIVE VOLUME, M^3
43604.51      88824.00      135604.64     183892.59     233634.03
284775.13     337262.03     391040.94     446057.97     502259.31

```



**XYTA**

**gas.dat**

5  
0.9  
1.3  
36.48  
4.28  
0.65  
0.5

**XYTA**

**gas.out**

```

*****
RAPIDLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION
0.00000 0.08536 0.06402 0.04268 0.02134 0.00000

GAS PRODUCTION
0.04268 0.07469 0.05335 0.03201 0.01067

*****
SLOWLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION 1-N
0.00000 0.00074 0.00148 0.00223 0.00297
RATE OF GAS PRODUCTION N-3N
0.00334 0.00297 0.00260 0.00223 0.00185 0.00148 0.00111 0.00074
0.00037 0.00000

GAS PRODUCTION 1-N
0.00037 0.00111 0.00185 0.00260 0.00334
GAS PRODUCTION N+1
0.00352386665
GAS PRODUCTION N+2-3N
0.00315 0.00278 0.00241 0.00204 0.00167 0.00130 0.00093 0.00056
0.00019

TOTAL RATE OF GENERATION
0.00000 0.08611 0.06551 0.04491 0.02431 0.00334 0.00297 0.00260
0.00223 0.00185 0.00148 0.00111 0.00074 0.00037 0.00000

TOTAL VOLUME OF GAS
0.04305 0.07581 0.05521 0.03461 0.01401 0.00352 0.00315 0.00278
0.00241 0.00204 0.00167 0.00130 0.00093 0.00056 0.00019
    
```

Τέλος έτους	Έτη λειτουργίας							Σύνολο	Βιοαέριο	Αθροιστικά
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°			
0	0							0		
1	0	0						0		
2	0.0861	0	0					0	0,000	0,000
3	0.0655	0.08611	0	0				0,08611	0,043	0,043
4	0.0449	0.06551	0.08611	0	0			0,15162	0,119	0,162
5	0.0243	0.04491	0.06551	0.08611	0	0		0,19653	0,174	0,336
6	0.0033	0.02431	0.04491	0.06551	0.08611	0		0,22084	0,209	0,545
7	0.003	0.00334	0.02431	0.04491	0.06551	0.08611		0,22418	0,223	0,767

8	0.0026	0.00297	0.00334	0.02431	0.04491	0.06551	0.08611	0,22715	0,226	0,993
9	0.0022	0.0026	0.00297	0.00334	0.02431	0.04491	0.06551	0,22975	0,228	1,221
10	0.0019	0.00223	0.0026	0.00297	0.00334	0.02431	0.04491	0,14587	0,188	1,409
11	0.0015	0.00185	0.00223	0.0026	0.00297	0.00334	0.02431	0,08221	0,114	1,523
12	0.0011	0.00148	0.00185	0.00223	0.0026	0.00297	0.00334	0,03878	0,060	1,584
13	0.0007	0.00111	0.00148	0.00185	0.00223	0.0026	0.00297	0,01558	0,027	1,611
14	0.0004	0.00074	0.00111	0.00148	0.00185	0.00223	0.0026	0,01298	0,014	1,625
15	0	0.00037	0.00074	0.00111	0.00148	0.00185	0.00223	0,01038	0,012	1,637
16		0	0.00037	0.00074	0.00111	0.00148	0.00185	0,00778	0,009	1,646
17		0	0	0.00037	0.00074	0.00111	0.00148	0,00555	0,007	1,653
18			0	0	0.00037	0.00074	0.00111	0,0037	0,005	1,657
19				0	0	0.00037	0.00074	0,00222	0,003	1,660
20					0	0	0.00037	0,00111	0,002	1,662
21						0	0	0,00037	0,001	1,663
22							0	0	0,000	1,663

**XYTY**

**gas2.dat**

5  
0.92  
1.32  
32.91  
5.24  
0.65  
0.5

**XYTY**

**gas2.out**

```

*****
RAPIDLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION
0.00000 0.07872 0.05904 0.03936 0.01968 0.00000

GAS PRODUCTION
0.03936 0.06888 0.04920 0.02952 0.00984

*****
SLOWLY BIODEGRADABLE
*****
RATE OF GAS PRODUCTION 1-N
0.00000 0.00092 0.00184 0.00277 0.00369
RATE OF GAS PRODUCTION N-3N
0.00415 0.00369 0.00323 0.00277 0.00231 0.00184 0.00138 0.00092
0.00046 0.00000

GAS PRODUCTION 1-N
0.00046 0.00138 0.00231 0.00323 0.00415
GAS PRODUCTION N+1
0.00438064011
GAS PRODUCTION N+2-3N
0.00392 0.00346 0.00300 0.00254 0.00208 0.00161 0.00115 0.00069
0.00023
    
```

Παράρτημα Ι

TOTAL RATE OF GENERATION

0.00000 0.07964 0.06089 0.04213 0.02337 0.00415 0.00369 0.00323  
0.00277 0.00231 0.00184 0.00138 0.00092 0.00046 0.00000

TOTAL VOLUME OF GAS

0.03982 0.07026 0.05151 0.03275 0.01399 0.00438 0.00392 0.00346  
0.00300 0.00254 0.00208 0.00161 0.00115 0.00069 0.00023

Τέλος έτους	Έτη λειτουργίας									Σύνολο	Βιοαέριο	Αθροιστικά
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°			
0	0									0		
1	0	0								0	0,000	0,000
2	0,0796		0	0						0,07964	0,040	0,040
3	0,0609	0,07964		0	0					0,14053	0,110	0,150
4	0,0421	0,06089	0,07964		0	0				0,18266	0,162	0,312
5	0,0234	0,04213	0,06089	0,07964		0	0			0,20603	0,194	0,506
6	0,0042	0,02337	0,04213	0,06089	0,07964		0	0		0,21018	0,208	0,714
7	0,0037	0,00415	0,02337	0,04213	0,06089	0,07964		0	0	0,21387	0,212	0,926
8	0,0032	0,00369	0,00415	0,02337	0,04213	0,06089	0,07964		0	0,2171	0,215	1,141
9	0,0028	0,00323	0,00369	0,00415	0,02337	0,04213	0,06089	0,07964		0,21987	0,218	1,360
10	0,0023	0,00277	0,00323	0,00369	0,00415	0,02337	0,04213	0,06089	0,07964	0,22218	0,221	1,581
11	0,0018	0,00231	0,00277	0,00323	0,00369	0,00415	0,02337	0,04213	0,06089	0,14438	0,183	1,764
12	0,0014	0,00184	0,00231	0,00277	0,00323	0,00369	0,00415	0,02337	0,04213	0,08487	0,115	1,879
13	0,0009	0,00138	0,00184	0,00231	0,00277	0,00323	0,00369	0,00415	0,02337	0,04366	0,064	1,943
14	0,0005	0,00092	0,00138	0,00184	0,00231	0,00277	0,00323	0,00369	0,00415	0,02075	0,032	1,975
15	0	0,00046	0,00092	0,00138	0,00184	0,00231	0,00277	0,00323	0,00369	0,0166	0,019	1,994
16			0,00046	0,00092	0,00138	0,00184	0,00231	0,00277	0,00323	0,01291	0,015	2,009
17			0	0,00046	0,00092	0,00138	0,00184	0,00231	0,00277	0,00968	0,011	2,020
18				0	0,00046	0,00092	0,00138	0,00184	0,00231	0,00691	0,008	2,028
19					0	0,00046	0,00092	0,00138	0,00184	0,0046	0,006	2,034
20						0	0,00046	0,00092	0,00138	0,00276	0,004	2,038
21							0	0,00046	0,00092	0,00138	0,002	2,040
22								0	0,00046	0,00046	0,001	2,041
23									0	0	0,000	2,041

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

**thornwaite.dat**

11.6  
11.8  
13.2  
16.3  
20.1  
24.5  
26.5  
26.1  
23.3  
19.4  
16.1  
13.1  
9.8  
10.6  
11.7  
12.9  
13.9  
14.4  
14.2  
13.4  
12.2  
11.1  
10.1  
9.6  
31  
28  
31  
30  
31  
30  
31  
31  
30  
31  
30  
31

JANUARY	FEBRUARY	MARCH	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUGUST	SEPTEMBER	OCTOBER	NOEMBER	DECEMBER
*****											
CALCULATED PARAMETERS											
*****											
3.56	3.65	4.32	5.92	8.11	10.91	12.28	12.00	10.12	7.69	5.81	4.27
26.81	27.70	34.35	51.48	76.95	112.48	130.76	127.00	102.15	71.89	50.27	33.85
*****											
TOTAL EVAPOTRANSPIRATION PER YEAR (MM)											
*****											
22.62	22.84	34.60	55.34	92.10	134.98	159.89	146.54	103.86	68.71	42.31	27.98
*****											
TOTAL EVAPOTRANSPIRATION PER YEAR (MM)											
*****											
911.77											

**XYTA**

**LEACHIN.dat**

465  
 0.38  
 1.85  
 1  
 0.1667  
 7  
 1200  
 0.299  
 0.22  
 0.03  
 1.339

**LEACHIN2.dat**

0  
 0.043055  
 0.07581  
 0.05521  
 0.03461  
 0.013825  
 0.003155

**XYTA**

**LEACHOUT.dat**

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
  370.07  716.85 1086.92  444.44  272.40  299.00 1385.92
*****
RESULTS PER YEAR
*****
GAS PRODUCED, M^3
0.00    30.86    54.34    39.58    24.81    9.91    2.26

WEIGHT OF GAS PRODUCED, KG
0.00    41.33    72.77    52.99    33.22    13.27    3.03

WEIGHT OF WATER CONSUMED IN THE PRODUCTION OF THE LANDFILL GAS, KG
0.00    6.79    11.96    8.71    5.46    2.18    0.50

WEIGHT OF WATER VAPOR IN THE GAS, KG
0.00    0.93    1.63    1.19    0.74    0.30    0.07

WEIGHT OF WATER IN MSW IN LIFT, KG
571.40    563.69    550.10    540.21    534.00    531.53    530.96

  DRY WEIGHT OF MSW REMAINING IN THE LIFT, KG
444.44    409.91    349.10    304.81    277.05    265.96    263.43

  AVERAGE WEIGHT OF THE LIFT
878.00    1898.41    2820.61    3648.53    4414.57    5145.98    5862.28

  FIELD CAPACITY FACTOR
0.51    0.44    0.39    0.35    0.33    0.31    0.29

  AMOUNT OF WATER THAT CAN BE HELD IN MSW, KG
227.02    179.42    135.83    108.14    91.07    81.82    76.37
    
```

AMOUNT OF LEACHATE FORMED, KG/M <sup>2</sup>						
344.38	384.27	414.27	432.06	442.94	449.70	454.59
AMOUNT OF WATER REMAINING IN THE LIFT, KG						
227.02	179.42	135.83	108.14	91.07	81.82	76.37
TOTAL WEIGHT OF LIFT, KG						
1041.54	959.40	855.00	783.03	738.19	717.85	709.87

**XYTY**

**LEACHIN.dat**

499  
0.44  
1.45  
1  
0.1667  
9  
1200  
0.299  
0.21  
0.03  
1.339

**LEACHIN2.dat**

0  
0.0398  
0.0703  
0.0515  
0.0328  
0.014  
0.0044  
0.0039  
0.0035

**XYTY  
LEACHOUT . dat**

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
290.06 602.93 892.99 337.64 265.29 299.00 1191.99
*****
RESULTS PER YEAR
*****
0.00 24.00 42.39 31.05 19.78 8.44 2.65 2.35 2.11
0.00 32.13 56.76 41.58 26.48 11.30 3.55 3.15 2.83
0.00 5.04 8.90 6.52 4.15 1.77 0.56 0.49 0.44
0.00 0.72 1.27 0.93 0.59 0.25 0.08 0.07 0.06
564.29 558.53 548.36 540.91 536.16 534.13 533.50 532.93 532.43
337.64 310.55 262.70 227.64 205.31 195.78 192.79 190.13 187.75
741.03 1528.80 2243.67 2884.97 3477.03 4040.81 4591.57 5135.13 5672.42
0.52 0.46 0.42 0.39 0.36 0.34 0.32 0.31 0.29
176.50 143.27 109.80 87.91 74.18 66.73 62.33 58.55 55.27
387.79 415.26 438.56 453.00 461.98 467.40 471.17 474.38 477.16
176.50 143.27 109.80 87.91 74.18 66.73 62.33 58.55 55.27
804.21 743.88 662.55 605.60 569.55 552.57 545.17 538.74 533.07

```



**XYTA**

**LEACHIN.dat**

465  
0.38  
1.85  
1  
0.1667  
7  
1200  
0.175  
0.22  
0.03  
1.339

**LEACHIN2.dat**

0.043  
0.07581  
0.05521  
0.03461  
0.01382  
0.003155  
0.002785

**LEACHIN3.dat**

227.02  
179.42  
135.83  
108.14  
91.07  
81.82  
76.37

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
      370.07      716.85      175.00      444.44
*****
LAST YEAR
*****
30.82      54.34      39.58      24.81      9.91      2.26      2.00
41.27      72.77      52.99      33.22      13.27      3.03      2.67
6.78      11.96      8.71      5.46      2.18      0.50      0.44
0.92      1.63      1.19      0.74      0.30      0.07      0.06
394.31      346.98      316.04      295.41      282.20      272.95      265.10
409.95      349.14      304.85      277.09      266.01      263.48      261.24
772.21      1711.33      2549.80      3323.11      4059.93      4780.62      5492.85
0.52      0.45      0.40      0.37      0.34      0.32      0.30
213.17      156.88      122.57      101.81      90.50      83.72      78.04
181.15      190.11      193.47      193.60      191.70      189.23      187.06
213.17      156.88      122.57      101.81      90.50      83.72      78.04
993.19      876.09      797.50      748.97      726.58      717.27      709.36
*****
PRODUCED LEACHATE KG/M^2
*****
      187.06

```

**XYTY**

**LEACHIN.dat**

499  
0.44  
1.45  
1  
0.1667  
9  
1200  
0.175  
0.21  
0.03  
1.339

**LEACHIN2.dat**

0.0398  
0.0703  
0.0515  
0.0328  
0.014  
0.0044  
0.0039  
0.0035  
0.003

**LEACHIN3.dat**

176.50  
143.27  
109.80  
87.91  
74.18  
66.73  
62.33  
58.55  
55.27

```

*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
      290.06      602.93      175.00      337.64
*****
LAST YEAR
*****
      24.00      42.39      31.05      19.78      8.44      2.65      2.35      2.11      1.81
      32.13      56.76      41.58      26.48      11.30      3.55      3.15      2.83      2.42
      5.04      8.90      6.52      4.15      1.77      0.56      0.49      0.44      0.38
      0.72      1.27      0.93      0.59      0.25      0.08      0.07      0.06      0.05
      345.74      313.00      290.76      275.57      265.58      258.41      252.23      246.84      242.11
      310.55      262.70      227.64      205.31      195.78      192.79      190.13      187.75      185.71
      618.20      1344.35      1993.05      2590.34      3158.09      3712.12      4258.49      4798.23      5332.22
      0.53      0.47      0.43      0.40      0.37      0.35      0.33      0.32      0.30
      165.84      124.58      98.36      82.14      73.27      67.95      63.44      59.56      56.23
      179.90      188.42      192.40      193.43      192.32      190.46      188.79      187.27      185.88
      165.84      124.58      98.36      82.14      73.27      67.95      63.44      59.56      56.23
      766.45      677.34      616.06      577.51      559.11      550.79      543.63      537.37      532.00
*****
PRODUCED LEACHATE, KG/M^2
*****
      185.88

```

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΧΥΤΑ

#### **leachin.dat**

465  
0.38  
1.85  
1  
0.1667  
7  
1200  
0.299  
0.22  
0.03  
1.339

#### **settle.dat**

1041.54  
959.40  
855.00  
783.03  
738.19  
717.85  
709.87

**settle.out**

```

*****
COVER MATERIAL
*****
370.07 716.85
*****
LIFT HEIGHT, M
*****
370.07      1411.61      2371.01      3226.01      4009.04      4747.23      5465.08
671.47      589.33       484.93       412.96       368.12       347.78       339.80
      705.81      1706.28      2613.48      3432.49      4193.10      4921.12      5634.98
      507.10      557.50      595.87      625.80      650.34      671.36      689.98
      1.32       1.06       0.81       0.66       0.57       0.52       0.49
      1.63       1.37       1.12       0.97       0.87       0.83       0.80
*****
TOTAL CELL HEIGHT,M
*****
      7.59
*****
ADDITIONAL CAPACITY, %
*****
      70.61
*****
ADDITIONAL AMOUNT OF WASTE KG/M^2
*****
      3543.36

```

**XYTY**

**leachin.dat**

499  
0.44  
1.45  
1  
0.1667  
9  
1200  
0.299  
0.21  
0.03  
1.339

**settle.dat**

804.21  
743.88  
662.55  
605.60  
569.55  
552.57  
545.17  
538.74  
533.07

**settle.out**

```

*****
COVER MATERIAL
*****
290.06 602.93
*****
LIFT HEIGHT, M
*****
290.06 1094.27 1838.15 2500.70 3106.30 3675.85 4228.42 4773.59 5312.33
514.15 453.82 372.49 315.54 279.49 262.51 255.11 248.68 243.01
547.13 1321.18 2024.39 2658.47 3246.04 3807.10 4355.97 4897.93 5433.83
532.16 573.23 605.65 631.62 653.33 672.24 689.23 704.72 718.91
0.97 0.79 0.62 0.50 0.43 0.39 0.37 0.35 0.34
1.21 1.03 0.86 0.74 0.67 0.63 0.61 0.59 0.58
*****
TOTAL CELL HEIGHT,M
*****
6.93
*****
ADDITIONAL CAPACITY, %
*****
88.39
*****
ADDITIONAL AMOUNT OF WASTE KG/M^2
*****
4796.22

```



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### lcr.dat

0.022  
200  
175  
40  
0.05  
0.66  
0.18  
0.013

### lcr.out

```
*****  
PIPE SUPPLY, M^3/S  
*****  
0.043  
*****  
PEAK SUPPLY, M^3/S  
*****  
0.214  
*****  
NUMBER OF PIPES  
*****  
4.000  
*****  
DISTANCE BETWEEN PIPES  
*****  
35.000  
*****  
TOTAL SUPPLY M^3/S  
*****  
0.171  
*****  
INSERT NEW D  
*****
```

### lcr2.dat

0.022  
200  
175  
40  
0.05  
0.66  
0.2  
0.013

**lcr2.out**

```
*****
PIPE SUPPLY, M^3/S
*****
0.057
*****
PEAK SUPPLY, M^3/S
*****
0.214
*****
NUMBER OF PIPES
*****
4.000
*****
DISTANCE BETWEEN PIPES
*****
35.000
*****
TOTAL SUPPLY M^3/S
*****
0.227
*****
OK
*****
```

**collect.dat**

```
0.47
20
0.01
0.001
```

**collect.out**

```
*****
LEACHATE COLLECTION SYSTEM
*****
HMAX1 (M)
0.039
0.122
0.386
1.221
3.861

HMAX2 (M)
0.007
0.058
0.299
1.125
3.762
```

**D=20m, K=1.5**

**collect.dat**

```
0.47
20
0.015
0.001
```

**collect.out**

```
*****  
LEACHATE COLLECTION SYSTEM  
*****  
HMAX1 (M)  
0.039  
0.122  
0.386  
1.221  
3.861  
  
HMAX2 (M)  
0.005  
0.043  
0.264  
1.080  
3.713
```

**D=20m, K=2.0**

**collect.dat**

```
0.47  
20  
0.02  
0.001
```

**collect.out**

```
*****  
LEACHATE COLLECTION SYSTEM  
*****  
HMAX1 (M)  
0.039  
0.122  
0.386  
1.221  
3.861  
  
HMAX2 (M)  
0.004  
0.034  
0.235  
1.037  
3.666
```

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

**Msw.dat**

```
39.8  
7.35  
12.65  
6.55  
3.45  
3.45  
16.2  
0.9  
3.6
```

5.7

**properties.out**

```

*****
TOTAL MOISTURE CONTENT, %
*****
36.485

*****
BIODEGRADABLE OFMSW, %
*****
40.415

*****
SPECIFIC WEIGHT (KG/M^3)
*****

UNCOMPACTED WASTE
136.514
NORMAL COMPACTED WASTE
481.161
WELL COMPACTED WASTE
598.078

*****
HHV, MJ/KG   KCAL/KG
*****
LLOYD
    11.97   2857.97

BOYE
    11.56   2761.28

WILSON
    11.38   2718.89

MODIFIED DULONG
    11.06   2641.67

LIU TAIWAN
    12.57   3002.02

EXPERIMENTAL ENTHALPY
    10.73   2562.63

MERAZ
    11.66   2785.23

GHARARARH
    9.54    2277.77

HAWF
    17.95   4286.63

*****
LHV, MJ/KG   KCAL/KG
*****
LLOYD
    9.89    2361.86

BOYE

```

	9.48	2265.17
WILSON		
	9.31	2222.78
MODIFIED DULONG		
	9.89	2361.86
LIU TAIWAN		
	10.49	2505.91
EXPERIMENTAL ENTHALPY		
	8.65	2066.52
MERAZ		
	9.58	2289.12
GHARARARH		
	7.46	1781.66
HAWF		
	9.96	2379.81

**methane.out**

\*\*\*\*\*

RAPIDLY DECOMPOSABLE

\*\*\*\*\*

TOTAL WEIGHT, KG

50.46

TOTAL DRY WEIGHT, KG

20.15

"CHEMICAL FORMULA"

C H O N

28 45 18 1

"FACTORS"

H2O CH4 CO2 NH3

8.500 14.750 13.250 1.000

"MOLES"

CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3

669. 153. 236. 583. 17.

VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED, M<sup>3</sup>

9.92 8.88

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG D.W.

0.93

THEORETICAL AMOUNT OF GAS, M<sup>3</sup>/KG

0.37

\*\*\*\*\*

SLOWLY DECOMPOSABLE

\*\*\*\*\*

TOTAL WEIGHT, KG

15.34

TOTAL DRY WEIGHT, KG

12.67

"CHEMICAL FORMULA"

C H O N  
14 21 3 1

"FACTORS"

H2O CH4 CO2 NH3  
8.000 8.500 5.500 1.000

"MOLES"

CaHbOcNd H2O CH4 CO2 NH3  
237. 144. 136. 242. 17.

VOLUME OF CH4 & CO2 PRODUCED,M^3  
10.14 6.54

THEORETICAL AMOUNT OF GAS,M^3/KG D.W.  
1.32

THEORETICAL AMOUNT OF GAS,M^3/KG  
1.09

### gas.out

\*\*\*\*\*

RAPIDLY BIODEGRADABLE

\*\*\*\*\*

RATE OF GAS PRODUCTION

0.00000 0.04872 0.03654 0.02436 0.01218 0.00000

GAS PRODUCTION

0.02436 0.04263 0.03045 0.01827 0.00609

\*\*\*\*\*

SLOWLY BIODEGRADABLE

\*\*\*\*\*

RATE OF GAS PRODUCTION 1-N

0.00000 0.00268 0.00535 0.00803 0.01070

RATE OF GAS PRODUCTION N-3N

0.01204 0.01070 0.00937 0.00803 0.00669 0.00535 0.00401 0.00268  
0.00134 0.00000

GAS PRODUCTION 1-N

0.00134 0.00401 0.00669 0.00937 0.01204

GAS PRODUCTION N+1

0.0127105452

GAS PRODUCTION N+2-3N

0.01137 0.01003 0.00870 0.00736 0.00602 0.00468 0.00334 0.00201  
0.00067

TOTAL RATE OF GENERATION

0.00000 0.05140 0.04189 0.03239 0.02288 0.01204 0.01070 0.00937  
0.00803 0.00669 0.00535 0.00401 0.00268 0.00134 0.00000

TOTAL VOLUME OF GAS

0.02570 0.04665 0.03714 0.02764 0.01813 0.01271 0.01137 0.01003  
0.00870 0.00736 0.00602 0.00468 0.00334 0.00201 0.00067

### κύτταρο 1

leachin.dat

481.1  
0.36

4  
1  
0.1667  
4  
1200  
0.307  
0.22  
0.03  
1.339

**leachin2.dat**

0  
0.0257  
0.0466  
0.0371

**leach.out**

```
*****  
LIFT CHARACTERISTICS  
*****  
      800.16  1603.60  2403.76  1026.31   577.30  307.00  2710.76  
*****  
RESULTS PER YEAR  
*****  
      0.00    41.21    74.73    59.49  
      0.00    55.18   100.06    79.66  
      0.00     9.07    16.44    13.09  
      0.00     1.24     2.24     1.78  
    884.30   873.99   855.31   840.44  
   1026.31   980.19   896.57   829.99  
   1755.46  4011.98  6076.24  7987.82  
      0.45     0.34     0.29     0.25  
   458.26   335.06   255.58   206.82  
   426.03   538.93   599.73   633.62  
   458.26   335.06   255.58   206.82  
   2284.73  2115.41  1952.31  1836.97
```

**κύτταρο 2**

**leachin.dat**

481.1  
0.36  
2.67  
1  
0.1667  
6  
1200  
0.155  
0.22  
0.03  
1.339

**leachin2.dat**

0  
0.0257  
0.0466  
0.0371  
0.0276  
0.0181

**leach.out**

```
*****
LIFT CHARACTERISTICS
*****
534.11  1070.40  1604.51  685.06  385.35  307.00  1911.51
*****
RESULTS PER YEAR
*****
      0.00  27.51  49.88  39.71  29.54  19.37
      0.00  36.84  66.79  53.17  39.56  25.94
      0.00  6.05  10.97  8.74  6.50  4.26
      0.00  0.83  1.50  1.19  0.89  0.58
      692.35  685.47  673.00  663.07  655.68  650.84
      685.06  654.28  598.46  554.02  520.96  499.28
      1222.81  2754.16  4165.00  5471.89  6705.59  7889.05
      0.48  0.39  0.34  0.30  0.27  0.25
      331.02  256.60  201.50  165.80  141.65  125.20
      361.33  428.87  471.50  497.27  514.03  525.64
      331.02  256.60  201.50  165.80  141.65  125.20
      1550.18  1444.98  1334.07  1253.92  1196.72  1158.59
```

**Κύτταρο 1  
settle.dat**

2284.73  
2115.41  
1952.31  
1836.97

```
*****
COVER MATERIAL
*****
      800.16  1603.60
*****
LIFT HEIGHT, M
*****
      800.16  3084.89  5200.30  7152.61
      1484.57  1315.25  1152.15  1036.81
      1542.45  3742.52  5776.38  7671.01
      565.98  652.25  709.56  750.57
      2.62  2.02  1.62  1.38
      3.29  2.68  2.29  2.05
*****
TOTAL CELL HEIGHT, M
*****
      10.31
*****
ADDITIONAL CAPACITY, %
*****
      55.16
*****
ADDITIONAL AMOUNT OF WASTE KG/M^2
*****
      3538.31
```

**Κύτταρο 2  
settle.dat**

1550.18  
1444.98



1334.07  
 1253.92  
 1196.72  
 1158.59

**settle.out**

```

*****
COVER MATERIAL
*****
    534.11 1070.40
*****
LIFT HEIGHT, M
*****
534.11      2084.29      3529.27      4863.34      6117.26      7313.98
1016.07      910.87      799.96      719.81      662.61      624.48
1042.14      2539.72      3929.25      5223.24      6448.56      7626.22
541.23      609.07      658.24      695.56      725.24      749.70
1.88      1.50      1.22      1.03      0.91      0.83
2.32      1.94      1.66      1.48      1.36      1.28
*****
TOTAL CELL HEIGHT, M
*****
    10.04
*****
ADDITIONAL CAPACITY, %
*****
    59.56
*****
ADDITIONAL AMOUNT OF WASTE KG/M^2
*****
    3825.13
    
```

```
*****
*****
**
**
**          HYDROLOGIC EVALUATION OF LANDFILL PERFORMANCE          **
**          HELP MODEL VERSION 3.07  (1 NOVEMBER 1997)              **
**          DEVELOPED BY ENVIRONMENTAL LABORATORY                   **
**          USAE WATERWAYS EXPERIMENT STATION                      **
**          FOR USEPA RISK REDUCTION ENGINEERING LABORATORY        **
**
**
*****
*****
```

```
PRECIPITATION DATA FILE:   C:\HELP3.07\at4.D4
TEMPERATURE DATA FILE:    C:\HELP3.07\at7.D7
SOLAR RADIATION DATA FILE: C:\HELP3.07\at13.D13
EVAPOTRANSPIRATION DATA:  C:\HELP3.07\at11.D11
SOIL AND DESIGN DATA FILE: C:\HELP3.07\at10.D10
OUTPUT DATA FILE:         C:\HELP3.07\at.OUT
```

TIME: 22: 3 DATE: 3/26/2006

```
*****
TITLE:  CHANIA
*****
```

NOTE: INITIAL MOISTURE CONTENT OF THE LAYERS AND SNOW WATER WERE  
COMPUTED AS NEARLY STEADY-STATE VALUES BY THE PROGRAM.

LAYER 1  
-----

```
TYPE 1 - VERTICAL PERCOLATION LAYER
MATERIAL TEXTURE NUMBER 3
THICKNESS           = 10.00 CM
POROSITY             = 0.4570 VOL/VOL
FIELD CAPACITY      = 0.0830 VOL/VOL
WILTING POINT       = 0.0330 VOL/VOL
INITIAL SOIL WATER  = 0.1586 VOL/VOL
EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.310000009000E-02 CM/SEC
```

LAYER 2  
-----

```
TYPE 1 - VERTICAL PERCOLATION LAYER
MATERIAL TEXTURE NUMBER 0
THICKNESS           = 270.00 CM
POROSITY             = 0.6710 VOL/VOL
FIELD CAPACITY      = 0.4500 VOL/VOL
WILTING POINT       = 0.0770 VOL/VOL
INITIAL SOIL WATER  = 0.4500 VOL/VOL
EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.100000005000E-02 CM/SEC
```

LAYER 3  
-----

TYPE 2 - LATERAL DRAINAGE LAYER

MATERIAL TEXTURE NUMBER 21  
 THICKNESS = 50.00 CM  
 POROSITY = 0.3970 VOL/VOL  
 FIELD CAPACITY = 0.0320 VOL/VOL  
 WILTING POINT = 0.0130 VOL/VOL  
 INITIAL SOIL WATER CONTENT = 0.0766 VOL/VOL  
 EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.300000012000 CM/SEC

LAYER 4  
 -----

TYPE 2 - LATERAL DRAINAGE LAYER

MATERIAL TEXTURE NUMBER 2  
 THICKNESS = 10.00 CM  
 POROSITY = 0.4370 VOL/VOL  
 FIELD CAPACITY = 0.0620 VOL/VOL  
 WILTING POINT = 0.0240 VOL/VOL  
 INITIAL SOIL WATER CONTENT = 0.4074 VOL/VOL  
 EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.579999993000E-02 CM/SEC  
 SLOPE = 2.00 PERCENT  
 DRAINAGE LENGTH = 17.5 METERS

LAYER 5  
 -----

TYPE 4 - FLEXIBLE MEMBRANE LINER

MATERIAL TEXTURE NUMBER 35  
 THICKNESS = 0.15 CM  
 POROSITY = 0.0000 VOL/VOL  
 FIELD CAPACITY = 0.0000 VOL/VOL  
 WILTING POINT = 0.0000 VOL/VOL  
 INITIAL SOIL WATER CONTENT = 0.0000 VOL/VOL  
 EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.199999996000E-12 CM/SEC  
 FML PINHOLE DENSITY = 1.00 HOLES/HECTARE  
 FML INSTALLATION DEFECTS = 5.00 HOLES/HECTARE  
 FML PLACEMENT QUALITY = 3 - GOOD

LAYER 6  
 -----

TYPE 3 - BARRIER SOIL LINER

MATERIAL TEXTURE NUMBER 25  
 THICKNESS = 50.00 CM  
 POROSITY = 0.4370 VOL/VOL  
 FIELD CAPACITY = 0.3730 VOL/VOL  
 WILTING POINT = 0.2660 VOL/VOL  
 INITIAL SOIL WATER CONTENT = 0.4370 VOL/VOL  
 EFFECTIVE SAT. HYD. COND. = 0.359999990000E-05 CM/SEC

GENERAL DESIGN AND EVAPORATIVE ZONE DATA  
 -----

NOTE: SCS RUNOFF CURVE NUMBER WAS COMPUTED FROM DEFAULT  
 SOIL DATA BASE USING SOIL TEXTURE # 3 WITH BARE  
 GROUND CONDITIONS, A SURFACE SLOPE OF 1.% AND  
 A SLOPE LENGTH OF 17. METERS.

SCS RUNOFF CURVE NUMBER = 81.60  
 FRACTION OF AREA ALLOWING RUNOFF = 0.0 PERCENT  
 AREA PROJECTED ON HORIZONTAL PLANE = 2.0500 HECTARES  
 EVAPORATIVE ZONE DEPTH = 30.0 CM  
 INITIAL WATER IN EVAPORATIVE ZONE = 4.758 CM  
 UPPER LIMIT OF EVAPORATIVE STORAGE = 13.710 CM

LOWER LIMIT OF EVAPORATIVE STORAGE = 0.990 CM  
 INITIAL SNOW WATER = 0.000 CM  
 INITIAL WATER IN LAYER MATERIALS = 164.113 CM  
 TOTAL INITIAL WATER = 164.113 CM  
 TOTAL SUBSURFACE INFLOW = 0.00 MM/YR

EVAPOTRANSPIRATION AND WEATHER DATA  
 -----

NOTE: EVAPOTRANSPIRATION DATA WAS OBTAINED FROM  
 CHANIA CHANIA

STATION LATITUDE = 35.30 DEGREES  
 MAXIMUM LEAF AREA INDEX = 0.00  
 START OF GROWING SEASON (JULIAN DATE) = 310  
 END OF GROWING SEASON (JULIAN DATE) = 85  
 EVAPORATIVE ZONE DEPTH = 30.0 CM  
 AVERAGE ANNUAL WIND SPEED = 19.60 KPH  
 AVERAGE 1ST QUARTER RELATIVE HUMIDITY = 66.32 %  
 AVERAGE 2ND QUARTER RELATIVE HUMIDITY = 62.08 %  
 AVERAGE 3RD QUARTER RELATIVE HUMIDITY = 64.49 %  
 AVERAGE 4TH QUARTER RELATIVE HUMIDITY = 77.80 %

NOTE: PRECIPITATION DATA FOR CHANIA CHANIA  
 WAS ENTERED BY THE USER.

NOTE: TEMPERATURE DATA FOR CHANIA CHANIA  
 WAS ENTERED BY THE USER.

NOTE: SOLAR RADIATION DATA FOR CHANIA  
 WAS ENTERED BY THE USER.

\*\*\*\*\*

ANNUAL TOTALS FOR YEAR 1  
 -----

	MM	CU. METERS	PERCENT
	-----	-----	-----
PRECIPITATION	627.50	12863.753	100.00
RUNOFF	0.000	0.000	0.00
EVAPOTRANSPIRATION	377.003	7728.559	60.08
DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 4	250.2741	5130.619	39.88
PERC./LEAKAGE THROUGH LAYER 6	0.219957	4.509	0.04
AVG. HEAD ON TOP OF LAYER 5	34.2834		
CHANGE IN WATER STORAGE	0.003	0.064	0.00
SOIL WATER AT START OF YEAR	1641.131	33643.180	
SOIL WATER AT END OF YEAR	1641.134	33643.246	
SNOW WATER AT START OF YEAR	0.000	0.000	0.00
SNOW WATER AT END OF YEAR	0.000	0.000	0.00
ANNUAL WATER BUDGET BALANCE	0.0001	0.002	0.00

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

AVERAGE MONTHLY VALUES (MM) FOR YEARS 1 THROUGH 1

	JAN/JUL	FEB/AUG	MAR/SEP	APR/OCT	MAY/NOV	JUN/DEC
PRECIPITATION						
TOTALS	105.20 16.70	28.00 16.10	53.40 44.40	44.40 73.40	0.20 96.40	0.00 149.30
STD. DEVIATIONS	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
RUNOFF						
TOTALS	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
STD. DEVIATIONS	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
EVAPOTRANSPIRATION						
TOTALS	43.194 0.522	22.362 3.983	34.528 37.045	45.172 69.145	2.189 65.217	0.000 53.646
STD. DEVIATIONS	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000
LATERAL DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 4						
TOTALS	103.3977 3.6585	17.6254 2.0131	10.6035 1.1780	14.8603 3.6914	12.2159 10.5798	6.6991 63.7515
STD. DEVIATIONS	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 6						
TOTALS	0.0485 0.0065	0.0267 0.0038	0.0170 0.0023	0.0230 0.0063	0.0193 0.0169	0.0112 0.0386
STD. DEVIATIONS	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000

AVERAGES OF MONTHLY AVERAGED DAILY HEADS (CM)

DAILY AVERAGE HEAD ON TOP OF LAYER 5						
AVERAGES	9.4425 1.0308	5.4981 0.5672	2.9876 0.3430	4.3266 1.0401	3.4419 3.0803	1.9505 7.4315
STD. DEVIATIONS	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

AVERAGE ANNUAL TOTALS & (STD. DEVIATIONS) FOR YEARS 1 THROUGH 1

	MM		CU. METERS	PERCENT
PRECIPITATION	627.50	( 0.000)	12863.8	100.00
RUNOFF	0.000	( 0.0000)	0.00	0.000
EVAPOTRANSPIRATION	377.003	( 0.0000)	7728.56	60.080

LATERAL DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 4	250.27411 ( 0.00000)	5130.619	39.88431
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 6	0.21996 ( 0.00000)	4.509	0.03505
AVERAGE HEAD ON TOP OF LAYER 5	34.283 ( 0.000)		
CHANGE IN WATER STORAGE	0.003 ( 0.0000)	0.06	0.000

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

PEAK DAILY VALUES FOR YEARS		1 THROUGH	1
		(MM)	(CU. METERS)
-----		-----	-----
PRECIPITATION		45.00	922.500
RUNOFF		0.000	0.0000
DRAINAGE COLLECTED FROM LAYER 4		29.39317	602.55994
PERCOLATION/LEAKAGE THROUGH LAYER 6		0.002310	0.04735
AVERAGE HEAD ON TOP OF LAYER 5		144.098	
MAXIMUM HEAD ON TOP OF LAYER 5		175.120	
LOCATION OF MAXIMUM HEAD IN LAYER 4 (DISTANCE FROM DRAIN)		7.6 METERS	
SNOW WATER		0.00	0.0000
MAXIMUM VEG. SOIL WATER (VOL/VOL)			0.2518
MINIMUM VEG. SOIL WATER (VOL/VOL)			0.0330

\*\*\* Maximum heads are computed using McEnroe's equations. \*\*\*  
 Reference: Maximum Saturated Depth over Landfill Liner  
 by Bruce M. McEnroe, University of Kansas  
 ASCE Journal of Environmental Engineering  
 Vol. 119, No. 2, March 1993, pp. 262-270.

\*\*\*\*\*

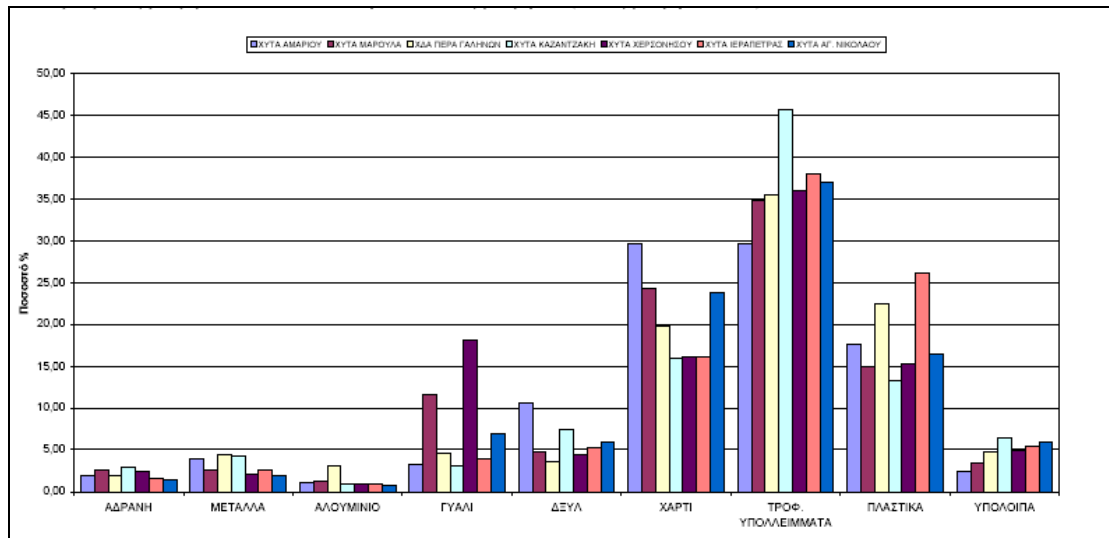
\*\*\*\*\*

FINAL WATER STORAGE AT END OF YEAR			1
LAYER	(CM)	(VOL/VOL)	
----	-----	-----	
1	4.7590	0.1586	
2	129.5998	0.4800	
3	3.8305	0.0766	
4	4.0741	0.4074	
5	0.0000	0.0000	
6	21.8500	0.4370	
SNOW WATER	0.000		

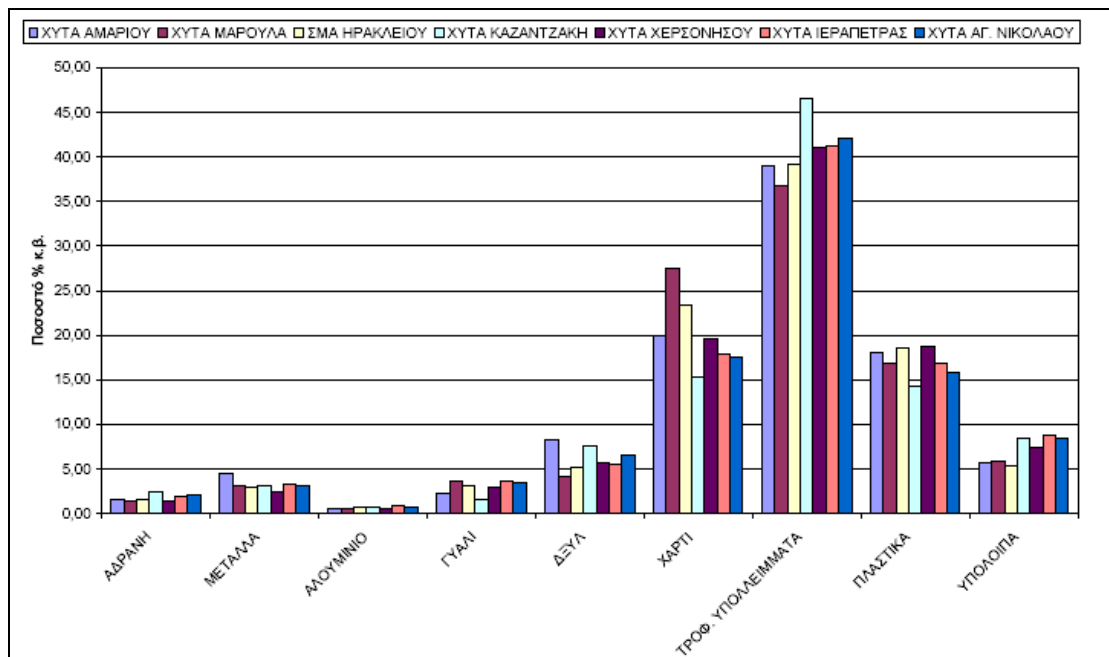
\*\*\*\*\*

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

### Κεφάλαιο 2



Εικόνα II.1: Σύνθεση % των ΑΣΑ στους 7 ΧΥΤΑ/Χ.Α δειγματοληψίας την περίοδο 15/9/2003-31/10/2003 (μέσες τιμές) [13]



Εικόνα II.2: Σύνθεση % των ΑΣΑ στους 7 ΧΥΤΑ/Χ.Α δειγματοληψίας την περίοδο 17/11/2003-23/1/2004 (μέσες τιμές) [13]

### Κεφάλαιο 4

Πίνακας II.1: Μέγιστη ικανότητα συγκράτησης (σε mm) για διαφόρους τύπους βλάστησης συναρτήσει του τύπου του εδάφους [35]

Soil texture	Soil use														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Loamy clay	100	110	55	125	145	145	125	145	160	250	270	250	250	125	110
Clay loam	70	80	35	90	110	90	110	90	100	160	180	160	160	110	90
	175	190	90	230	230	230	230	230	250	350	365	350	350	230	215
Sandy clay loam	115	125	70	135	155	145	155	115	125	270	290	270	270	155	135
	140	155	70	155	230	195	155	230	245	285	295	285	285	155	140
Sandy clay	100	110	50	100	140	130	100	130	140	220	230	220	220	100	90
	150	165	75	165	250	210	165	250	260	305	315	305	305	165	150
Sand; sandy loam	110	120	55	110	150	140	110	140	150	235	250	235	235	110	110
	65	70	45	95	135	115	95	135	140	210	220	215	215	95	85
Silt clay loam	40	40	30	60	70	70	60	70	70	155	165	155	155	60	55
	180	200	115	215	280	265	215	280	300	365	380	365	365	215	200
Silt loam	130	140	75	165	180	165	165	150	155	280	300	280	280	165	150
	180	200	115	215	280	265	215	280	300	365	380	365	365	215	200
Loam	130	140	75	165	180	165	165	150	155	280	300	280	280	165	150
	205	225	105	225	340	285	225	340	360	415	435	415	415	225	205
Loam; sandy loam	150	160	75	150	190	170	150	190	205	320	340	320	320	150	130
	100	105	65	140	195	170	140	195	205	310	320	310	310	140	125
Sandy loam	55	65	45	90	105	100	95	105	110	230	240	230	230	90	80
	100	105	65	140	195	170	140	195	205	310	320	310	310	140	125
	55	65	45	90	105	100	95	105	110	230	240	230	230	90	80

1 = Seeded dry ground	5 = Olive grove	9 = Fruit orchard (hard fruit)	13 = Chestnut trees
2 = Grass seeded	6 = Vineyards/olive	10 = Deciduous trees	14 = Grass and lawned area
3 = Vegetables	7 = Orange or lemon orchard	11 = Tall trees	15 = Meadow
4 = Vineyard	8 = Fruit orchard (soft fruit)	12 = Mixed woodland	

Πίνακας II.2: Μέγιστη πιθανή ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη(cal/cm<sup>2</sup>day) [35]

Latitude °North	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
60°	80	210	415	655	860	970	920	745	500	280	120	5
50°	220	354	545	750	915	980	950	810	615	420	260	180
40°	365	495	655	815	940	985	960	865	715	550	400	330
30°	480	620	755	870	950	975	955	900	800	660	535	465
20°	640	730	825	900	925	930	930	910	850	760	665	615
10°	755	820	870	900	885	870	880	885	870	840	770	755
0°	860	885	900	870	820	790	800	845	880	885	860	845



Πίνακας II.3: Μηνιαίες τιμές περιεχόμενης θερμότητας, που αντιστοιχεί σε μέσες μηνιαίες τιμές [44]

T°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
32	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.02	.03	.03
33	.04	.04	.05	.05	.06	.06	.07	.08	.09	.09
34	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.17	.18
35	.19	.20	.21	.22	.23	.24	.25	.26	.27	.28
36	.29	.30	.32	.33	.34	.35	.36	.37	.39	.40
37	.41	.42	.43	.44	.46	.47	.48	.50	.51	.52
38	.54	.55	.56	.58	.59	.60	.62	.63	.65	.66
39	.68	.70	.71	.73	.74	.76	.77	.79	.80	.82
40	.83	.85	.86	.88	.90	.91	.93	.95	.96	.98
41	1	1.01	1.03	1.05	1.07	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16
42	1.17	1.19	1.21	1.23	1.24	1.26	1.28	1.30	1.32	1.33
43	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52
44	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.72
45	1.74	1.76	1.78	1.80	1.82	1.85	1.87	1.89	1.91	1.93
46	1.95	1.97	2.00	2.02	2.04	2.06	2.08	2.10	2.13	2.15
47	2.17	2.19	2.21	2.23	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.37
48	2.39	2.41	2.43	2.46	2.48	2.50	2.53	2.55	2.57	2.60
49	2.62	2.64	2.67	2.69	2.71	2.74	2.76	2.79	2.81	2.84
50	2.86	2.89	2.91	2.93	2.96	2.98	3.01	3.03	3.06	3.08
51	3.11	3.13	3.16	3.18	3.21	3.23	3.25	3.28	3.30	3.33
52	3.35	3.38	3.40	3.43	3.45	3.48	3.50	3.53	3.55	3.58
53	3.6	3.63	3.65	3.68	3.71	3.73	3.76	3.79	3.81	3.84
54	3.87	3.89	3.92	3.95	3.97	4.00	4.03	4.06	4.08	4.11
55	4.14	4.16	4.19	4.22	4.25	4.27	4.30	4.33	4.35	4.38
56	4.41	4.44	4.47	4.50	4.52	4.55	4.57	4.60	4.63	4.66
57	4.69	4.72	4.75	4.77	4.80	4.83	4.86	4.89	4.92	4.95
58	4.98	5.01	5.04	5.07	5.10	5.13	5.15	5.19	5.22	5.25
59	5.28	5.31	5.34	5.37	5.40	5.43	5.46	5.49	5.52	5.55
60	5.58	5.61	5.64	5.67	5.70	5.73	5.76	5.79	5.82	5.85
61	5.88	5.91	5.94	5.97	6.00	6.03	6.06	6.10	6.13	6.16
62	6.19	6.22	6.25	6.28	6.31	6.34	6.38	6.41	6.44	6.47
63	6.50	6.53	6.56	6.59	6.62	6.66	6.69	6.72	6.75	6.79
64	6.82	7.85	6.88	6.92	6.95	6.98	7.02	7.05	7.08	7.12
65	7.15	7.18	7.22	7.25	7.28	7.32	7.35	7.38	7.42	7.45
66	7.48	7.52	7.55	7.58	7.62	7.65	7.68	7.72	7.75	7.78
67	7.82	7.85	7.89	7.92	7.95	7.99	8.02	8.05	8.09	8.12
68	8.16	8.19	8.23	8.26	8.30	8.33	8.37	8.40	8.44	8.47
69	8.51	8.54	8.57	8.61	8.64	8.68	8.71	8.75	8.78	8.82
70	8.85	8.89	8.92	8.96	8.99	9.03	9.06	9.10	9.13	9.17

T°F	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
71	9.2	9.24	9.27	9.31	9.34	9.38	9.42	9.45	9.49	9.53
72	9.57	9.60	9.64	9.67	9.71	9.75	9.78	9.82	9.85	9.89
73	9.93	9.97	10.01	10.04	10.08	10.12	10.15	10.19	10.22	10.26
74	10.30	10.34	10.37	10.41	10.45	10.48	10.52	10.56	10.60	10.64
75	10.67	10.71	10.75	10.78	10.82	10.86	10.89	10.93	10.97	11.01
76	11.05	11.09	11.13	11.17	11.20	11.24	11.28	11.31	11.35	11.39
77	11.43	11.47	11.51	11.54	11.58	11.62	11.66	11.70	11.74	11.76
78	11.82	11.85	11.89	11.93	11.97	12.01	12.05	12.09	12.13	12.17
79	12.21	12.25	12.29	12.33	12.37	12.41	12.45	12.49	12.53	12.57
80	12.61	12.65	12.69	12.73	12.77	12.81	12.85	12.89	12.93	12.97
81	13.01	13.05	13.09	13.13	13.17	13.21	13.25	13.29	13.33	13.37
82	13.41	13.45	13.49	13.53	13.57	13.61	13.65	13.69	13.73	13.77
83	13.81	13.85	13.89	13.94	13.98	14.02	14.06	14.10	14.14	14.18
84	14.22	14.26	14.31	14.35	14.39	14.43	14.47	14.52	14.56	14.60
85	14.64	14.69	14.73	14.77	14.81	14.85	14.90	14.94	14.98	15.02
86	15.07	15.11	15.15	15.19	15.23	15.28	15.32	15.36	15.40	15.45
87	15.49	15.53	15.58	15.62	15.66	15.71	15.75	15.79	15.84	15.88
88	15.92	15.97	16.01	16.05	16.10	16.14	16.18	16.23	16.27	16.31
89	16.36	16.40	16.44	16.49	16.53	16.57	16.62	16.66	16.70	16.75
90	16.79	16.83	16.88	16.92	16.96	17.01	17.05	17.09	17.14	17.18
91	17.23	17.27	17.32	17.36	17.41	17.45	17.49	17.54	17.58	17.63
92	17.67	17.72	17.76	17.81	17.85	17.89	17.94	17.98	18.03	18.07
93	18.12	18.16	18.21	18.25	18.30	18.34	18.39	18.43	18.48	18.52
94	18.57	18.62	18.66	18.71	18.75	18.80	18.84	18.89	18.93	18.98
95	19.03	19.07	19.12	19.16	19.21	19.25	19.30	19.34	19.39	19.44
96	19.48	19.53	19.58	19.62	19.67	19.71	19.76	19.81	19.86	19.90
97	19.95	20.00	20.04	20.09	20.14	20.18	20.23	20.28	20.32	20.37
98	20.42	20.46	20.51	20.56	20.60	20.65	20.70	20.74	20.79	20.84
99	20.88	20.93	20.98	21.03	21.08	21.13	21.17	21.22	21.27	21.32
100	21.36	21.41	21.46	21.51	21.56	21.60	21.65	21.70	21.75	21.79
101	21.84	21.89	21.94	21.99	22.03	22.08	22.13	22.18	22.23	22.29
102	22.33	22.38	22.42	22.47	22.52	22.57	22.62	22.67	22.71	22.76
103	22.81	22.86	22.91	22.96	23.00	23.05	23.10	23.15	23.20	23.25
104	23.30									

<sup>a</sup>Example - for a temperature of 77.5°F, I = 11.62<sup>a</sup>

Πίνακας II.4: Ενδεικτικός πίνακας UPEΤ για διαφορες τιμές θερμοκρασίας και τιμές I [ 32-39,5°F , και τιμές I από 25-80] [44]

		I Value (25.0-80)																						
		25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45	47.5	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70	72.5	75	77.5	80
32	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32.5	32.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33.5	33.5	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34.5	34.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	35	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35.5	35.5	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	36	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36.5	36.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	37	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
37.5	37.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0
38	38	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0
38.5	38.5	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0
39	39	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0
39.5	39.5	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Πίνακας II.5: Μέση πιθανή διάρκεια ηλιακής ακτινοβολίας στο β. ημισφαίριο (12hrs)

Northern Latitudes	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	33.3	31.2
1	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	33.3	31.2
2	31.2	28.2	31.2	30.3	31.5	30.5	31.2	31.2	30.3	31.2	33.3	30.9
3	30.9	28.2	30.9	30.3	31.5	30.5	31.5	31.2	30.3	31.2	30.9	30.9
4	30.9	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.5	31.5	30.3	30.9	30.9	30.6
5	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.8	31.5	30.3	30.9	29.7	30.6
6	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	31.2	31.8	31.5	30.3	30.9	29.7	30.3
7	30.3	27.6	30.9	30.6	32.1	31.2	32.1	31.8	30.3	30.9	29.7	30.3
8	30.3	27.6	30.9	30.9	32.1	31.5	32.1	31.8	30.6	30.9	29.4	30.0
9	30.0	27.6	30.9	30.9	32.4	31.5	32.4	31.8	30.6	30.9	29.4	30.0
10	30.0	27.3	30.9	30.9	32.4	31.8	32.4	32.1	30.6	30.8	29.4	29.7
11	29.7	27.3	30.9	30.9	32.7	31.8	32.7	32.1	30.6	30.8	29.1	27.9
12	29.7	27.3	30.9	31.2	32.7	32.1	33.0	32.1	30.6	30.8	29.1	27.4
13	29.4	27.3	30.9	31.2	33.0	32.1	33.0	32.4	30.6	30.8	28.8	27.4
14	29.4	27.3	30.9	31.2	33.0	32.4	33.3	32.4	30.6	30.8	28.8	29.1
15	29.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.4	33.6	32.4	30.6	30.8	28.5	29.1
16	29.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.7	33.6	32.7	30.6	30.8	28.5	28.8
17	28.8	27.3	30.9	31.5	33.9	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
18	28.8	27.0	30.9	31.5	33.9	33.0	33.9	33.0	30.6	30.0	28.2	28.5
19	28.5	27.0	30.9	31.5	33.9	33.0	34.2	33.0	30.6	30.0	27.9	28.5
20	28.5	27.0	30.9	31.5	33.0	33.3	34.2	33.3	30.6	30.0	27.9	28.2
21	28.2	27.0	30.9	31.5	33.0	33.3	34.5	33.3	30.6	29.9	27.9	28.2
22	28.2	26.7	30.9	31.8	34.2	33.9	34.5	33.3	30.6	29.7	27.9	27.9
23	27.9	26.7	30.9	31.8	34.2	33.9	34.8	33.6	30.6	29.7	27.9	27.9
24	27.9	26.7	30.9	31.8	34.5	34.2	34.8	33.6	30.6	29.7	27.3	27.9

Northern Latitudes	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
25	27.9	26.7	30.9	31.8	34.5	34.2	35.1	33.6	30.6	29.7	27.3	27.3
26	27.6	26.4	30.9	32.1	34.8	34.5	35.1	33.6	30.6	29.7	27.3	27.3
27	27.6	26.4	30.9	32.1	34.8	34.5	35.4	33.9	30.9	29.7	27.0	27.3
28	27.3	26.4	30.9	32.1	35.1	34.8	35.4	33.9	30.9	29.4	27.0	27.3
29	27.3	26.1	30.9	32.1	35.1	34.8	35.7	33.9	30.9	29.4	26.7	26.7
30	27.0	26.1	30.9	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.7	26.4
31	27.0	26.1	30.9	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.4	26.4
32	26.7	25.8	30.9	32.4	35.7	35.4	36.3	34.5	30.9	29.4	26.4	26.1
33	26.4	25.8	30.9	32.7	35.7	35.7	36.3	34.5	30.9	29.1	26.1	25.9
34	26.4	25.8	30.9	32.7	36.0	36.0	36.6	34.8	30.9	29.1	26.1	25.8
35	26.1	25.5	30.9	32.7	36.3	36.3	36.9	34.8	30.9	29.1	25.8	25.5
36	26.1	25.5	30.9	33.0	36.3	36.6	37.5	34.8	30.9	29.1	25.8	25.2
37	25.8	25.5	30.9	33.0	36.9	36.9	37.5	35.1	30.9	29.1	25.5	24.9
38	25.5	25.2	30.9	33.0	36.9	37.2	37.8	35.1	31.2	28.8	25.2	24.9
39	25.5	25.2	30.9	33.3	36.9	37.2	37.8	35.4	31.2	28.8	25.2	24.6
40	25.2	24.9	30.9	33.3	37.5	37.5	38.1	35.4	31.2	28.8	24.9	24.3
41	24.9	24.9	30.9	33.3	37.5	37.8	38.1	35.7	31.2	28.8	24.9	24.0
42	24.6	24.6	30.9	33.6	37.8	38.1	38.4	35.7	31.2	28.5	24.9	23.7
43	24.3	24.6	30.6	33.6	37.9	38.4	38.7	36.0	31.2	28.5	24.3	23.1
44	24.3	24.3	30.6	33.6	38.1	38.7	38.7	36.3	31.2	28.5	24.3	23.0
45	24.0	24.3	30.6	33.9	38.4	38.7	39.3	36.3	31.2	28.2	23.7	22.5
46	23.7	24.0	30.6	33.9	38.7	39.0	39.6	36.3	31.2	28.2	23.7	22.2
47	23.1	24.0	30.6	34.2	39.0	39.0	39.9	37.0	31.5	27.9	23.4	21.9
48	22.0	23.7	30.6	34.2	39.3	39.6	40.2	37.0	31.5	27.9	23.1	21.9
49	22.9	23.7	30.6	34.5	39.3	41.2	40.8	37.2	31.5	27.9	22.8	21.3
50	22.2	23.4	30.6	34.5	39.9	40.8	41.1	37.5	31.8	27.9	22.8	21.0

Πίνακας II.6: Προσωρινή ικανότητα συγκράτησης του νερού για διάφορους τύπους εδάφους και βλάστησης [44]

Soil Type	Available Water		Root Zone		Applicable Soil Moisture Retention Table	
	mm/m	in./ft	in.	ft	mm	in.
<b>Shallow-Rooted Crops (spinach, peas, beans, beets, carrots, etc.)</b>						
Fine sand	100	1.2	.50	1.67	50	2.0
Fine sandy loam	150	1.8	.50	1.67	75	3.0
Silt loam	200	2.4	.62	2.08	125	5.0
Clay loam	250	3.0	.40	1.33	100	4.0
Clay	300	3.6	.25	.83	75	3.0
<b>Moderately Deep-Rooted Crops (corn, cotton, tobacco, cereal grains)</b>						
Fine sand	100	1.2	.75	2.50	75	3.0
Fine sandy loam	150	1.8	1.00	3.33	150	6.0
Silt loam	200	2.4	1.00	3.33	200	8.0
Clay loam	250	3.0	.80	2.67	200	8.0
Clay	300	3.6	.50	1.67	50	6.0
<b>Deep-Rooted Crops (alfalfa, pastures, shrubs)</b>						
Fine sand	100	1.2	1.00	3.33	100	4.0
Fine sandy loam	150	1.8	1.00	3.33	150	6.0
Silt loam	200	2.4	1.25	4.17	250	10.0
Clay loam	250	3.0	1.00	3.33	250	10.0
Clay	300	3.6	.67	2.22	200	8.0
<b>Orchards</b>						
Fine sand	100	1.2	1.50	5.00	150	6.0
Fine sandy loam	150	1.8	1.67	5.55	250	10.0
Silt loam	200	2.4	1.50	5.00	300	12.0
Clay loam	250	3.0	1.00	3.33	250	10.0
Clay	300	3.6	.67	2.22	200	8.0
<b>Closed Mature Forest</b>						
Fine sand	100	1.2	2.50	8.33	250	10.0
Fine sandy loam	150	1.8	2.00	6.66	300	12.0
Silt loam	200	2.4	2.00	6.66	400	16.0
Clay loam	250	3.0	1.60	5.33	400	16.0
Clay	300	3.6	1.17	3.90	350	14.0

Notes:

Πίνακας II.7: Ενδεικτικός πίνακας συγκράτησης υγρασίας για διάφορα ποσά PET για συγκράτηση υγρασίας από τις ρίζες 4in [44]

PET	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	4.00	3.99	3.98	3.97	3.96	3.95	3.94	3.93	3.92	3.91
0.1	3.90	3.89	3.88	3.87	3.86	3.85	3.84	3.83	3.82	3.81
0.2	3.80	3.79	3.78	3.77	3.76	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71
0.3	3.70	3.69	3.68	3.67	3.66	3.65	3.64	3.63	3.62	3.62
0.4	3.61	3.60	3.59	3.58	3.57	3.56	3.55	3.54	3.54	3.53
0.5	3.52	3.51	3.50	3.49	3.48	3.47	3.46	3.46	3.45	3.44
0.6	3.43	3.42	3.41	3.40	3.39	3.38	3.38	3.37	3.36	3.35
0.7	3.34	3.33	3.32	3.31	3.30	3.30	3.29	3.28	3.27	3.26
0.9	3.26	3.25	3.24	3.23	3.23	3.22	3.21	3.20	3.19	3.19
0.9	3.18	3.17	3.16	3.16	3.15	3.14	3.13	3.12	3.12	3.11
1.0	3.10	3.09	3.09	3.08	3.07	3.06	3.05	3.05	3.04	3.03
1.1	3.02	3.02	3.01	3.00	2.99	2.98	2.98	2.97	2.96	2.95
1.2	2.94	2.94	2.93	2.92	2.91	2.90	2.90	2.89	2.88	2.87
1.3	2.86	2.86	2.85	2.84	2.83	2.82	2.82	2.81	2.80	2.79
1.4	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75	2.75	2.74	2.73	2.73	2.72
1.5	2.72	2.71	2.70	2.70	2.69	2.68	2.68	2.67	2.66	2.66
1.6	2.65	2.64	2.64	2.63	2.62	2.62	2.61	2.60	2.60	2.59
1.7	2.58	2.58	2.57	2.57	2.56	2.55	2.54	2.54	2.53	2.52
1.8	2.51	2.51	2.50	2.49	2.49	2.48	2.48	2.47	2.47	2.46
1.9	2.45	2.45	2.44	2.43	2.43	2.42	2.41	2.40	2.40	2.39
2.0	2.39	2.38	2.38	2.37	2.36	2.36	2.35	2.35	2.34	2.34